

日 本 国 特 許 庁

18.04.03

JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 4月22日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-118941

[ST.10/C]:

[JP2002-118941]

REC'D 13 JUN 2003

WIPO

PCT

出 願 人

Applicant(s):

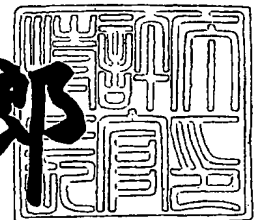
ソニー株式会社

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 5月27日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3038929

【書類名】 特許願

【整理番号】 0290419404

【提出日】 平成14年 4月22日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社  
内

【氏名】 菅原 稔

【特許出願人】

【識別番号】 000002185

【氏名又は名称】 ソニー株式会社

【代理人】

【識別番号】 100086298

【弁理士】

【氏名又は名称】 船橋 國則

【電話番号】 046-228-9850

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007364

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9904452

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 極短紫外光の反射体およびその製造方法、位相シフトマスク、並びに露光装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で極短紫外光による被露光体上への露光を行う際に用いられる極短紫外光の反射体であって、複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有するとともに、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長が設定されている

ことを特徴とする極短紫外光の反射体。

【請求項2】 前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長に加えて、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比についても、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように設定されている

ことを特徴とする請求項1記載の極短紫外光の反射体。

【請求項3】 複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有した極短紫外光の反射体の製造方法であって、

前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とを、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように設定して、前記多層膜構造を構成する

ことを特徴とする極短紫外光の反射体の製造方法。

【請求項4】 半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で極短紫外光による被露光体上への露光を行う際に用いられる位相シフトマスクであって、複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有する反射体部と、前記反射体部上を所定パターンで覆う吸収膜部とを備え、前記反射体部からの極短紫外光の反射光と前記吸収膜部からの極短紫外光の反射光との間で位相差が生じるように構成されているとともに、

前記反射体部は、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とが、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように設定されたものである

ことを特徴とする位相シフトマスク。

【請求項5】 半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で極短紫外光による被露光体上への露光を行う際に用いられる露光装置であって、

複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有した極短紫外光の反射体を所定数具備するとともに、

前記極短紫外光の反射体は、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とが、前記所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように設定されたものである

ことを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程にて、ウエハ等の被露光体上へ回路パターンを転写するための露光を行う際に用いられるもので、例えば露光用マスクのマスクブランクや反射ミラーのように、極短紫外光を反射する機能を有した極短紫外光の反射体およびその製造方法に関する。また、本発明は、極短紫外光を反射する機能を有した位相シフトマスクに関する。さらにまた、本発明は、極短紫外光の反射体を具備して構成された露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体装置の微細化に伴い、ウエハ上に形成される回路パターンやその回路パターンを形成するためのレジストパターン等に対しては、パターン幅（線幅）やパターン間のピッチ等の極小化が要求されている。このような極小化の要求については、レジストの露光に用いる紫外光の波長をより短波長にすることで

対応が可能となる。例えば、350nmの設計ルール of 半導体装置には365nmの波長、250nmおよび180nmの設計ルール of 半導体装置には248nmの波長、130nmおよび100nmの設計ルール of 半導体装置には193nmの波長といったように、半導体装置の微細化が進むほど、露光に用いる紫外光の波長も短波長化され、さらには157nmの波長の紫外光が用いられるようになってきている。

## 【 0 0 0 3 】

一般に、これらの波長による解像度は、 $w = k_1 \times (\lambda / NA)$  というレイリーの式で表されることが知られている。ここで、 $w$  は解像される最小幅のパターン、 $NA$  は投影光学系のレンズの開口数、 $\lambda$  は露光光の波長である。また、 $k_1$  は、主にレジストの性能および超解像技術の選択等により決定されるプロセス定数であって、最適なレジストおよび超解像技術を用いれば  $k_1 = 0.35$  程度まで選択できることが知られている。なお、超解像技術とは、マスクを透過し、マスク上遮光パターンで回折された光の  $\pm 1$  次回折光を選択的に用いることにより、波長よりも小さなパターンを得ようとするものである。

## 【 0 0 0 4 】

このレイリーの式によれば、例えば157nmの波長を用いた場合に対応が可能な最小のパターン幅は、 $NA = 0.9$  のレンズを用いるとすれば、 $w = 61\text{nm}$  となることがわかる。すなわち、61nmよりも小さなパターン幅を得るためには、157nmよりもさらに短波長の紫外光を用いる必要がある。

## 【 0 0 0 5 】

このことから、最近では、157nmよりも短波長の紫外光として、極短紫外光 (EUV; Extreme Ultra Violet) と呼ばれる13.5nmの波長のものを用いることも検討されている。ただし、157nmの波長の紫外光までは、例えば  $\text{CaF}_2$  (フッ化カルシウム) や  $\text{SiO}_2$  (二酸化ケイ素) といった光透過性のある材料が存在するため、当該紫外光を透過させる構成のマスクおよび光学系を作製することができる。ところが、13.5nmの波長の極短紫外光については、当該極短紫外光を所望の厚さでもって透過させる材料が存在していない。そのため、13.5nmの波長の極短紫外光を用いる場合には、光透過型のマスクおよび光学系ではなく、光を反射する反射型マスクおよび反射型光学系によって、マスクおよび光学系を構成する

必要がある。

#### 【 0 0 0 6 】

光反射型のマスクおよび光学系を用いた場合には、マスク面で反射された光が、そのマスクに入射される光と相互に干渉することなく、投影光学系に導かれねばならない。そのため、マスクに入射される光は、必然的にマスク面の法線に対して角度 $\phi$ を持った斜め入射となる必要が生じる。この角度は、投影光学系のレンズの開口数 $NA$ 、マスク倍率 $m$ 、照明光源の大きさ $\sigma$ から決まる。具体的には、例えばウエハ上に5倍の縮小倍率を持つマスクを用いた場合、 $NA=0.3$ 、 $\sigma=0.8$ の露光装置においては、光が $3.44\pm 2.75$ 度の立体角を持ってマスク上に入射することになる。また、ウエハ上に4倍の縮小倍率を持つマスクを用いた場合、 $NA=0.25$ 、 $\sigma=0.7$ の露光装置においては、光が $3.58\pm 2.51$ 度の立体角を持ってマスク上に入射することになる。

#### 【 0 0 0 7 】

このような斜め入射の光に対応する反射型マスクとしては、極短紫外光を反射するマスクブランクスと、そのマスクブランクス上を所定パターンで覆って極短紫外光を吸収する吸収膜と、マスクブランクスと吸収膜との間に介在するバッファ膜とを具備するものが知られている。マスクブランクスは、 $Si$ （ケイ素）層と $Mo$ （モリブデン）層とを交互に積層した構造で構成されるが、その積層の繰り返し数が40層であるものが一般的である。このマスクブランクス上を極短紫外光の吸収膜が所定パターンで覆うことによって、形成すべき回路パターンやレジストパターン等に対応した選択的な入射光の反射が行われることになる。なお、バッファ膜は、吸収膜を形成する際のエッチングストoppaとして、あるいは吸収膜形成後の欠陥除去時のダメージ回避を目的として設けられている。

#### 【 0 0 0 8 】

ところで、従来のマスクブランクスは、上述したように、 $Si$ 層と $Mo$ 層との積層の繰り返し数が40層であるものが一般的である。ここで、 $Si$ の屈折率は $0.9993-0.00182645i$ であり、 $Mo$ の屈折率は $0.9211-0.00643543i$ である。 $i$ は虚数単位である。また、 $Si$ 層および $Mo$ 層の合計の厚さと $Mo$ 層の厚さとの比 $\Gamma$ は、 $Mo$ 層厚/ $(Si$ 層厚+ $Mo$ 層厚) $=0.4$ が適切であることが知られている

。したがって、従来のマスクブランクスでは、露光に用いる極短紫外光の波長 $\lambda$ を13.5nmとすると、Si層とMo層の合計の膜厚が $(\lambda/2) / (0.9993 \times 0.6 + 0.9211 \times 0.4) = 6.973\text{nm}$ 、Si層の厚さが $6.9730 \times 0.6 = 4.184\text{nm}$ 、Mo層の厚さが $6.9730 \times 0.4 = 2.789\text{nm}$ となる。このようにして得られたSi層とMo層を40層繰り返して積層した場合におけるマスクブランクの反射率を図1に示す。なお、図例では、入射角度4.84度に対する反射率を示している。ここで、入射角度は、マスクブランクの表面に対する法線となす角度として定義される。

## 【0009】

また、Si層とMo層とを交互に積層した構造は、反射型マスクを構成するマスクブランクスだけではなく、反射型光学系を構成する反射ミラーにも全く同様に用いられる。すなわち、極短紫外光に対する反射ミラーとしては、Si層とMo層との積層の繰り返し数が40層であるものが一般的であり、極短紫外光の波長 $\lambda$ を13.5nmである場合にSi層およびMo層の厚さを適切化すると、図1に示すような反射率が得られることになる。

## 【0010】

## 【発明が解決しようとする課題】

ところで、極短紫外光を用いる場合には、露光装置の光源からウエハ上に塗布されたレジストまでの間に、例えば照明光学系のミラー反射面が6面、投影光学系のミラー反射面が6面、マスクによる反射面が1面の合計13面といったように、複数の反射面を経ることが一般的である。このとき、光源から照射された極短紫外光は反射面での反射時に減衰するが、その減衰が大きいと、ウエハ上に塗布されたレジストまで十分にエネルギーが到達せず、パターン形成等を好適に行えなくなってしまうおそれがある。

## 【0011】

ウエハ上に塗布されたレジストに到達するエネルギーは、極短紫外光が複数の反射面を経る場合、その複数面を経た反射率と光源における光源強度とでもって見積もることができる。複数面を経た反射率 $R$ は、例えば合計13面の反射面を経る場合であれば、以下に示す(1)式によって得られる。ここで、 $R_{TE}$ は反射面1面あたりのTE波の反射率、 $R_{TM}$ は反射面1面あたりのTM波の反射率であ

る。

【0012】

$$R = \{ (R_{TE} + R_{TM}) / 2 \}^{13} \dots (1)$$

【0013】

この(1)式を用いて、図1に示した反射率が得られるマスクブランクスおよび反射ミラーを用いた場合の合計13面の反射率Rを求めると、その反射率Rは、図2に示すようになる。図例によれば、反射率Rのスペクトルは、半値幅中心が極短紫外光の露光中心波長である13.5nmと一致していないことがわかる。すなわち、反射面1面あたりの反射率の半値幅中心が露光中心波長に一致したとしても(図1参照)、合計13面の反射面を経た場合の反射率Rは、必ずしもその半値幅中心が露光中心波長と一致するとは限らず、波長依存性が露光中心波長から外れてしまうことも起こり得る。これは、反射面1面あたりの反射率のピーク波長が極短紫外光の露光中心波長である13.5nmと一致していないことに起因する。

【0014】

このように、複数の反射面を経た場合の反射率の波長依存性が極短紫外光の露光中心波長から外れてしまうと、その露光中心波長に対する減衰、すなわち光源における光源強度に対する減衰が大きくなってしまう。そのため、ウエハ上に塗布されたレジストの好適露光波長において十分にエネルギーが到達せず、パターン形成等を好適に行えなくなる蓋然性が非常に高くなる。

【0015】

そこで、本発明は、複数の反射面を経た場合の反射率の波長依存性を、極短紫外光の露光中心波長に一致させるようにすることで、被露光体への到達エネルギーを十分に確保することのできる極短紫外光の反射体を提供することを目的とする。

【0016】

また、半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程においては、多数(多種類)の露光用マスクを使用することがある。さらには、露光装置が複数台存在する場合や、製造が複数工場で行われる場合等においては、同一製品および同一工程であっても、複数の露光用マスクを使用する場合が多い。これらの場合に、複



数の露光用マスクの間では、その構成膜厚等に製造ばらつきが生じていることが十分に考えられる。

【0017】

このような製造ばらつき、すなわち各露光用マスクの間での膜厚ばらつき等は、極短紫外光に対する反射率の半値幅中心のシフトを招き、ウエハ上に塗布されたレジストの好適露光波長における到達エネルギーを減少させる要因となり得るため、極力排除することが望ましい。しかしながら、例えばマスクブランクスの生産性を考慮すると、膜厚ばらつき等をあまりに厳密に制限することは現実的ではない。

【0018】

そこで、本発明は、膜厚ばらつき等がある程度許容しても、複数の反射面を経た場合の反射率の波長依存性を極短紫外光の露光中心波長に一致させて、被露光体への到達エネルギーを十分に確保することのできる極短紫外光の反射体およびその製造方法、位相シフトマスク、並びに露光装置を提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記目的を達成するために案出された極短紫外光の反射体で、半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で極短紫外光による被露光体上への露光を行う際に用いられるものであって、複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有するとともに、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長が設定されていることを特徴とする。

【0020】

さらに、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長に加えて、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比についても、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように設定されていてもよい。

【0021】

また、本発明は、上記目的を達成するために案出された極短紫外光の反射体の製造方法である。すなわち、複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有した極短紫外光の反射体の製造方法であって、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とを、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように設定して、前記多層膜構造を構成することを特徴とする。

## 【 0 0 2 2 】

また、本発明は、上記目的を達成するために案出された位相シフトマスクで、半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で極短紫外光による被露光体上への露光を行う際に用いられるものであって、複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有する反射体部と、前記反射体部上を所定パターンで覆う吸収膜部とを備え、前記反射体部からの極短紫外光の反射光と前記吸収膜部からの極短紫外光の反射光との間で位相差が生じるように構成されているとともに、前記反射体部は、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とが、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように設定されたものであることを特徴とする。

## 【 0 0 2 3 】

また、本発明は、上記目的を達成するために案出された露光装置で、半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で極短紫外光による被露光体上への露光を行う際に用いられるものであって、複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有した極短紫外光の反射体を所定数具備するとともに、前記極短紫外光の反射体は、前記多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、前記繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とが、前記所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように設定されたものであることを特徴とする。

## 【 0 0 2 4 】

上記の極短紫外光の反射体によれば、所定数の反射体を経た場合の反射率の半

値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長が設定されていることから、当該反射体を所定数経た後における極短紫外光の反射率は、その極短紫外光の中心波長と一致することになる。したがって、所定数の反射体を経る場合であっても、極短紫外光の強度に対する減衰が大きくなるのを抑制でき、被露光体への露光を行う際の到達エネルギーを十分に確保し得るようになる。

## 【 0 0 2 5 】

また、上記の極短紫外光の反射体およびその製造方法、位相シフトマスク、並びに露光装置によれば、多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長と、その繰り返し積層単位を構成する複数の層の膜厚比とが、所定数の反射体を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように設定されている。すなわち、複数の層の膜厚比をも設定対象とすることで、多層膜構造の総膜厚がシフトしても、反射率の半値幅中心と露光中心波長とが一致するようにしている。したがって、許容し得る多層膜構造の総膜厚のばらつき幅が広がることになり、その場合であっても極短紫外光の強度に対する減衰が大きくなるのを抑制でき、被露光体への露光を行う際の到達エネルギーを十分に確保し得るようになる。

## 【 0 0 2 6 】

## 【発明の実施の形態】

以下、図面に基づき本発明に係る極短紫外光の反射体およびその製造方法、位相シフトマスク、並びに露光装置について説明する。なお、当然のことではあるが、本発明は、以下に述べる実施の形態に限定されるものではない。

## 【 0 0 2 7 】

先ず、本発明に係る露光装置の一例について説明する。ここで説明する露光装置は、半導体装置の製造工程、特に半導体装置の回路パターンを露光用マスクからウエハ上に転写するためのリソグラフィ工程で、極短紫外光による被露光体（ウエハ上のレジスト）への露光を行う際に用いられるものである。さらに詳しくは、中心波長が13.5nmの極短紫外光を照射する光源から、被露光体であるウエハ上のレジストまでの間に、その極短紫外光が、光学系のミラー反射面を12面、

露光用マスクによる反射面を1面、合計で13面の反射面を経るように構成されたものである。

## 【 0 0 2 8 】

続いて、このような露光装置にて用いられる極短紫外光の反射体、すなわち本発明に係る極短紫外光の反射体について説明する。ここで説明する極短紫外光の反射体は、光学系のミラー反射面を構成する反射ミラーまたは露光用マスクの反射面を構成するマスクブランクスとして用いられるものである。さらに詳しくは、例えば $\text{SiO}_2$ （二酸化ケイ素）等の低膨張ガラス上に、 $\text{Si}$ 層および $\text{Mo}$ 層が、当該ガラス上から反射面（表面）側に向かって、 $\text{Mo}/\text{Si}/\text{Mo}/\text{Si}\cdots\text{Mo}/\text{Si}$ といった順に、それぞれ40層ずつ同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有したものである。このような多層膜構造の反射体は、例えばスパッタリングにより形成することが考えられる。具体的には、例えばイオンビームスパッタ装置を用いて、 $\text{Si}$ 層、 $\text{Mo}$ 層をそれぞれ所定の成膜速度で成膜することが考えられる。

## 【 0 0 2 9 】

この反射体を用いて露光用の反射型マスクを構成するためには、その反射体上に、 $\text{Ru}$ （ルテニウム）等からなるバフファ膜を介して、極短紫外光吸収体材料である $\text{TaN}$ （窒化タンタル）等からなる吸収膜を形成すればよい。つまり、反射体の光反射面側を所定パターンの吸収膜で覆うことにより、形成すべき回路パターンやレジストパターン等に対応した選択的な入射光の反射を行うことが可能となる。また、反射ミラーを構成する場合であれば、反射体の光反射面をそのまま用いて、入射光の反射を行えばよい。なお、このときの光学条件としては、入射光である極短紫外光の中心波長（露光波長）が $13.5\text{nm}$ 、その露光条件が $\text{NA}=0.25$ 、 $\sigma=0.70$ である場合が挙げられる。

## 【 0 0 3 0 】

ところで、このような多層膜構造の反射体については、既に説明したように、 $\text{Si}$ の屈折率が $0.9993-0.00182645i$ 、 $\text{Mo}$ の屈折率が $0.9211-0.00643543i$ 、極短紫外光の波長 $\lambda$ が $13.5\text{nm}$ であることから、 $\text{Si}$ 層および $\text{Mo}$ 層の合計の厚さと $\text{Mo}$ 層の厚さとの比 $\Gamma$ を $0.4$ とし、 $\text{Si}$ 層と $\text{Mo}$ 層の合計の膜厚を $(\lambda/2)/(\Gamma$

$.9993 \times 0.6 + 0.9211 \times 0.4 = 6.973\text{nm}$ 、Si 層の厚さを  $6.9730 \times 0.6 = 4.184\text{nm}$ 、Mo 層の厚さを  $6.9730 \times 0.4 = 2.789\text{nm}$  とすることが一般的である。ただし、このように構成した多層膜構造の反射体では、図 1 に示すように、単一の場合における反射率の半値幅中心は露光中心波長に一致しているが、そのピーク波長が露光中心波長から外れているため、合計 13 面の反射面を経た場合の反射率 R が、図 2 に示すように、必ずしもその半値幅中心が露光中心波長と一致せずに、波長依存性が露光中心波長から外れてしまうことも起こり得る。

## 【0031】

このことから、本実施形態で説明する多層膜構造の反射体は、合計 13 面の反射面を経た場合であっても、その場合の反射率が露光中心波長と一致し、これによりレジストへの到達エネルギーを十分に確保できるようにすべく、Si 層と Mo 層の繰り返し積層単位の膜厚周期長が、従来とは異なるように設定されている。すなわち、本実施形態で説明する反射体は、多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長が、合計 13 面の反射面を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように設定されている。

## 【0032】

具体的には、反射体が単一の場合における反射率のピーク波長が露光中心波長から外れていることを考慮して、そのずれ量に応じた補正を極短紫外光の波長  $\lambda$  の値に加え、膜厚比  $\Gamma$  の値を 0.4 としたまま、Si 層と Mo 層の合計の膜厚を  $(\lambda / 2) / (0.9997 \times 0.6 + 0.9221 \times 0.4)$  の式によって特定する。これにより、本実施形態で説明する反射体は、Si 層と Mo 層の合計膜厚、すなわち繰り返し積層単位の周期長が  $6.95\text{nm}$  となる構成を具備することになる。なお、このとき、 $\Gamma = 0.4$  であることから、Si 層の 1 層あたりの膜厚は  $4.17\text{nm}$ 、Mo 層の 1 層あたりの膜厚は  $2.78\text{nm}$  となる。

## 【0033】

このように構成された反射体では、単一の場合における反射率スペクトルについてみれば、図 3 に示すように、その半値幅中心は露光中心波長と一致しない。ところが、合計 13 面の反射面を経た場合の反射率 R については、図 4 に示すように、その半値幅中心が露光中心波長と一致することになる。これは、多層膜構

造における繰り返し積層単位の膜厚周期長、すなわち光学的な周期長が従来とは異なるため、その多層膜構造にて干渉し強め合う波長も異なることとなり、これにより反射率のピーク波長がずれるからであると考えられる。

## 【0034】

ここで、このような構成の反射体の製造手順について説明する。図5は、反射体の製造手順の一例を示すフローチャートである。図例のように、反射体の製造にあたっては、先ず、露光装置における反射体の搭載数の分、具体的には合計13面の反射面を経た場合の反射率スペクトルを求める（ステップ101、以下ステップを「S」と略す）。このとき、反射率スペクトルは、反射体を試作して実測しても、あるいはシミュレーション技術を利用して求めてもよい。そして、反射率スペクトルを求めると、その反射率スペクトルの半値幅中心が極短紫外光の露光中心波長に一致するか否かを判断する（S102）。この判断の結果、互いが一致しなければ、それぞれが一致するように多層膜構造におけるSi層とMo層の膜厚周期長を異ならせた後（再設定した後）、再び合計13面の反射面を経た場合の反射率スペクトルを求め（S101）、これを双方が互いに一致するまで繰り返す。なお、多層膜構造におけるSi層とMo層の膜厚は、例えばスパッタリングにおける成膜速度を適宜調整することによって所望する値に形成することが考えられる。

## 【0035】

このようにして得た反射体（例えば、膜厚周期長6.95nmで $\Gamma=0.4$ となる反射体）を用いて露光装置、特に反射ミラーからなる光学系を構成すれば、極短紫外光の光源からウエハ上のレジストまでの間に当該極短紫外光が合計13面の反射面を経る場合であっても、その場合の反射率Rが露光中心波長と一致ようになる。したがって、極短紫外光の強度に対する減衰が大きくなるのを抑制でき、レジストへの露光を行う際の到達エネルギーを十分に確保できるようになる。

## 【0036】

ところで、露光装置にて用いられる反射体のうち、特に露光用マスクを構成するマスクブランクスについては、転写すべき回路パターンに応じて頻繁に交換されるものであるため、それぞれの個体差、すなわち各マスクブランクスにおける

多層膜構造に膜厚ばらつきが生じることが避けられない。多層膜構造の膜厚ばらつきには、大別すると、各Si層の膜厚 $d_{Si}$ のばらつきおよび各Mo層の膜厚 $d_{Mo}$ のばらつきと、40層に積層された後の総膜厚についての膜厚 $d_{total}$ のばらつきとの2つがある。これらの関係は、以下に示す(2)式によって表される。

【0037】

【数1】

$$d_{total} = \sum_j^{40} d_{jSi} + \sum_j^{40} d_{jMo} \quad \dots (2)$$

【0038】

ただし、これら2つの膜厚ばらつきのうち、Si層の膜厚 $d_{Si}$ のばらつきおよびMo層の膜厚 $d_{Mo}$ のばらつきは、総膜厚 $d_{total}$ のばらつきが所望範囲内に属するように制限されていれば、極短紫外光反射時の強度低下に大きな影響を及ぼすことがない。このことは、例えば露光装置が、膜厚周期長6.95nmで $\Gamma=0.4$ となるように構成された合計12枚の反射ミラーと、膜厚ばらつきのあるマスクブランクスから構成された露光用マスクとを搭載している場合を考えると、合計12枚の反射ミラーを経た後の反射率 $R_{12}$ と、膜厚ばらつきのあるマスクブランクの反射率 $R_{mask}$ とから、これらを全て経た後の合計13面の反射率 $R_{total}$ を、以下に示す(3)式に基づいて求めることによって確認できる。

【0039】

$$R_{total} = R_{12} \times R_{mask} \quad \dots (3)$$

【0040】

具体的には、 $d_{Si}$ および $d_{Mo}$ にばらつきを持つマスクブランクスにおいて、標準偏差 $\sigma$ を用いて $3\sigma=0.5\text{nm}$ および $3\sigma=1.0\text{nm}$ の場合にウエハ上のレジストまで到達するエネルギーと、 $3\sigma=0.0\text{nm}$ の場合のエネルギーとを、それぞれ相対的に比較する。さらに詳しくは、 $3\sigma=0.5\text{nm}$ の場合のエネルギー $E_{(3\sigma=0.5)} = \int R_{total} d\lambda$ と、 $3\sigma=1.0\text{nm}$ の場合のエネルギー $E_{(3\sigma=1.0)} = \int R_{total} d\lambda$ とを求め、これらを $3\sigma=0.0\text{nm}$ の場合のエネルギー $E_{(3\sigma=0)} = \int R_{total} d\lambda$ と比較する。この比較は、以下に示す(4)式および(5)式を用いて行えばよ

い。

【0041】

$$E_{\text{relative}} = E(3\sigma=0.5) / E(3\sigma=0) \cdots (4)$$

$$E_{\text{relative}} = E(3\sigma=1.0) / E(3\sigma=0) \cdots (5)$$

【0042】

これらの(4)、(5)式を用いて求めた3種類のばらつき(ばらつきA～C)についての到達エネルギーの相対比較の結果を図6に示す。なお、ばらつきA～Cは、それぞればらつきの態様が異なっているものとする。この場合において、経験則に基づいて  $E_{\text{relative}} \geq 0.95$  であることを判定基準とすると、図例からも明らかなように、 $3\sigma=0.5\text{nm}$ の場合にはエネルギーの到達度が問題になることはなく、また  $3\sigma=1.0\text{nm}$ の場合であっても、2種類のばらつき(ばらつきA、B)については問題がない。このような結果に対して、実際のマスクブランクス製造工程においては、 $3\sigma=0.5\text{nm}$ の場合よりもばらつき幅を小さく制御することが可能である。したがって、これらの結果を総合的に勘案すれば、Si層の膜厚  $d_{\text{Si}}$  およびMo層の膜厚  $d_{\text{Mo}}$  にばらつきが生じていても、これらのばらつきが問題になることはないと言える。

【0043】

ところが、総膜厚  $d_{\text{total}}$  のばらつきについては、各層の膜厚  $d_{\text{Si}}$ 、 $d_{\text{Mo}}$  のばらつきとは異なり、極短紫外光反射時の強度低下に大きな影響を及ぼすことになる。これは、例えば  $\Gamma=0.4$  となるように構成された多層膜構造の場合、上述したように反射率スペクトルの半値幅中心が極短紫外光の露光中心波長と一致するようにしても、その多層膜構造の総膜厚  $d_{\text{total}}$  にばらつきが生じ、所望値より薄くなってしまうと、半値幅中心が露光中心波長よりも短波長側にシフトしてしまい、また所望値より厚くなってしまうと、半値幅中心が露光中心波長よりも長波長側にシフトしてしまうからである。例えば、 $\Gamma=0.4$  とし、Si層の膜厚が4.17nm、Mo層の膜厚が2.78nm、これらの繰り返し積層単位の周期長が6.95nmで、これらを各40層積層した総膜厚  $d_{\text{total}}=278\text{nm}$  の多層膜構造について、その総膜厚  $d_{\text{total}}$  に  $-3\text{nm} \sim +3\text{nm}$  のばらつきが生じた場合における反射率  $R_{\text{mask}}$  を図7に示す。図例からも、総膜厚  $d_{\text{total}}$  のばらつきに応じて、反射率  $R_{\text{mask}}$



$s_k$ の半値幅中心が露光中心波長の短波長側または長波長側にシフトしてしまうことがわかる。

【0044】

したがって、総膜厚  $d_{total}$  のばらつきについては、各層の膜厚  $d_{Si}$ 、 $d_{Mo}$  のばらつきとは異なり、そのばらつき幅がある一定の許容範囲内に属するように制限する必要がある。

【0045】

総膜厚  $d_{total}$  のばらつき幅は、例えば  $\Gamma=0.4$  となるように構成された多層膜構造の場合、以下のようにして求めることができる。まず、図7に示した結果を基に、総膜厚  $d_{total}$  のばらつきに対する合計13面の反射率  $R_{total}$  を求める。その結果を図8に示す。そして、図8に示す結果から、ウエハ上のレジストまで到達するエネルギーを求めて、それぞれ相対的に比較する。具体的には、例えば総膜厚  $d_{total}$  を  $-3\text{ nm}$  から  $+3\text{ nm}$  まで変化させ、それぞれの場合における到達エネルギー  $E(\Delta d_{total}=-3)=\int R_{total} d\lambda$ 、 $E(\Delta d_{total}=-2)=\int R_{total} d\lambda$ 、 $E(\Delta d_{total}=-1)=\int R_{total} d\lambda$ 、 $E(\Delta d_{total}=+1)=\int R_{total} d\lambda$ 、 $E(\Delta d_{total}=+2)=\int R_{total} d\lambda$  および  $E(\Delta d_{total}=+3)=\int R_{total} d\lambda$  を求め、これらをばらつきのない場合の到達エネルギー  $E(\Delta d_{total}=0)=\int R_{total} d\lambda$  と比較する。

【0046】

すなわち、これら  $d_{total}$  のばらつきに対するウエハ上に到達する相対エネルギー  $E_{relative}=E(\Delta d_{total}=-3)/E(\Delta d_{total}=0)$ 、 $E_{relative}=E(\Delta d_{total}=-2)/E(\Delta d_{total}=0)$ 、 $E_{relative}=E(\Delta d_{total}=-1)/E(\Delta d_{total}=0)$ 、 $E_{relative}=E(\Delta d_{total}=0)/E(\Delta d_{total}=0)$ 、 $E_{relative}=E(\Delta d_{total}=+1)/E(\Delta d_{total}=0)$ 、 $E_{relative}=E(\Delta d_{total}=+2)/E(\Delta d_{total}=0)$ 、 $E_{relative}=E(\Delta d_{total}=+3)/E(\Delta d_{total}=0)$  を求める。このようにして得られた  $E_{relative}$  の比較結果を図9に示す。

【0047】

このようにして得られた  $\Delta d_{total}$  に対する  $E_{relative}$  の比較結果から、 $d_{total}$  のばらつきの許容範囲を求めることができる。すなわち、経験則に基づいて  $E$

$\text{relative} \geq 0.95$ であることを判定基準とすると、図9に示した結果からも明らかのように、許容される  $d_{\text{total}}$  のばらつきは、 $-2.195\text{nm} \sim +2.755\text{nm}$  の範囲であり、レンジで  $4.95\text{nm}$  となることがわかる。つまり、 $\Gamma = 0.4$  となるように構成された多層膜構造の場合、基準値  $d_{\text{total}} = 278\text{nm}$  に対して  $1.78\%$  のばらつきが許容されることになる。

## 【0048】

しかしながら、例えばマスクブランクス生産性を考慮すると、許容される  $d_{\text{total}}$  のばらつきは、その幅が大きいほうが望ましいことは言うまでもない。この点については、 $\Gamma$  を一定値に固定した状態で総膜厚  $d_{\text{total}}$  のばらつきが許容範囲に属するように多層膜構造を構成するのではなく、上述した多層膜構造における膜厚周期長とともに最適な  $\Gamma$  値を選択することによって、 $d_{\text{total}}$  のばらつきの許容範囲拡大を実現することが可能である。

## 【0049】

ここで、最適な  $\Gamma$  値の選択について詳しく説明する。例えば、多層膜構造における膜厚周期長と最適な  $\Gamma$  値との関係は、図10に示すように与えられる。具体的には、膜厚周期長  $6.88\text{nm}$  で  $\Gamma = 0.25$  (このときの総膜厚  $d_{\text{total}} = 275.2\text{nm}$ 、Si層の1層あたりの膜厚  $= 5.1600\text{nm}$ 、Mo層の1層あたりの膜厚  $= 1.7200\text{nm}$ )、膜厚周期長  $6.90\text{nm}$  で  $\Gamma = 0.30$  (このときの総膜厚  $d_{\text{total}} = 276.0\text{nm}$ 、Si層の1層あたりの膜厚  $= 4.8300\text{nm}$ 、Mo層の1層あたりの膜厚  $= 2.0700\text{nm}$ )、膜厚周期長  $6.92\text{nm}$  で  $\Gamma = 0.85$  (このときの総膜厚  $d_{\text{total}} = 276.8\text{nm}$ 、Si層の1層あたりの膜厚  $= 4.4980\text{nm}$ 、Mo層の1層あたりの膜厚  $= 2.4220\text{nm}$ )、膜厚周期長  $6.95\text{nm}$  で  $\Gamma = 0.40$  (このときの総膜厚  $d_{\text{total}} = 278.0\text{nm}$ 、Si層の1層あたりの膜厚  $= 4.1700\text{nm}$ 、Mo層の1層あたりの膜厚  $= 2.7800\text{nm}$ )、膜厚周期長  $6.98\text{nm}$  で  $\Gamma = 0.45$  (このときの総膜厚  $d_{\text{total}} = 279.2\text{nm}$ 、Si層の1層あたりの膜厚  $= 3.8390\text{nm}$ 、Mo層の1層あたりの膜厚  $= 3.1410\text{nm}$ )、膜厚周期長  $7.01\text{nm}$  で  $\Gamma = 0.50$  (このときの総膜厚  $d_{\text{total}} = 280.4\text{nm}$ 、Si層の1層あたりの膜厚  $= 3.5050\text{nm}$ 、Mo層の1層あたりの膜厚  $= 3.5050\text{nm}$ )、膜厚周期長  $7.03\text{nm}$  で  $\Gamma = 0.55$  (このときの  $d_{\text{total}} = 281.2\text{nm}$ 、Si層の1層あたりの膜厚  $= 3.1635\text{nm}$ 、Mo層の1層あたりの膜厚  $= 3.8665\text{nm}$ )、膜厚周期長  $7.05\text{nm}$  で  $\Gamma = 0.60$  (このときの  $d_{\text{total}} = 282.0\text{nm}$

、Si層の1層あたりの膜厚=2.8200nm、Mo層の1層あたりの膜厚=4.2300nm)  
である。

## 【0050】

このように最適な $\Gamma$ 値を選択した場合における多層膜構造単体、すなわち反射面1枚における反射率を図11に示す。図例によれば、膜厚周期長と $\Gamma$ 値とを最適に組み合わせることで、総膜厚 $d_{total}$ がシフトしても、ピーク強度を与える波長は変化しないことがわかる。

## 【0051】

また、最適な $\Gamma$ 値を選択した場合における合計13面の反射率 $R_{total}$ を図12に示す。図例によれば、反射率の半値幅中心が常に13.5nmの露光中心波長に一致することがわかる。

## 【0052】

図12に示す結果から、ウエハ上のレジストまで到達するエネルギーを求めて、それぞれ相対的に比較する。具体的には、最適な $\Gamma$ 値を選択したそれぞれの場合における到達エネルギー $E(\Gamma=0.25)=\int R_{total} d\lambda$ 、 $E(\Gamma=0.30)=\int R_{total} d\lambda$ 、 $E(\Gamma=0.35)=\int R_{total} d\lambda$ 、 $E(\Gamma=0.40)=\int R_{total} d\lambda$ 、 $E(\Gamma=0.45)=\int R_{total} d\lambda$ 、 $E(\Gamma=0.50)=\int R_{total} d\lambda$ 、 $E(\Gamma=0.55)=\int R_{total} d\lambda$ および $E(\Gamma=0.60)=\int R_{total} d\lambda$ を求め、これらを基準となる $E(\Gamma=0.40)=\int R_{total} d\lambda$ と比較する。

## 【0053】

すなわち、これら $d_{total}$ のばらつきに対するウエハ上に到達する相対エネルギー $E_{relative}=E(\Gamma=0.25)/E(\Gamma=0.40)$ 、 $E_{relative}=E(\Gamma=0.30)/E(\Gamma=0.40)$ 、 $E_{relative}=E(\Gamma=0.35)/E(\Gamma=0.40)$ 、 $E_{relative}=E(\Gamma=0.40)/E(\Gamma=0.40)$ 、 $E_{relative}=E(\Gamma=0.45)/E(\Gamma=0.40)$ 、 $E_{relative}=E(\Gamma=0.50)/E(\Gamma=0.40)$ 、 $E_{relative}=E(\Gamma=0.55)/E(\Gamma=0.40)$ 、 $E_{relative}=E(\Gamma=0.60)/E(\Gamma=0.40)$ を求める。このようにして得られた $E_{relative}$ の比較結果を図13に示す。

## 【0054】

このようにして得られた $E_{relative}$ の比較結果から、 $d_{total}$ のばらつきの許

容範囲を求めることができる。すなわち、経験則に基づいて  $E_{\text{relative}} \geq 0.95$  であることを判定基準とすると、図 1 3 に示した結果からも明らかなように、許容される  $d_{\text{total}}$  のばらつきは、 $-2.220\text{nm} \sim +3.585\text{nm}$  の範囲であり、レンジ幅で  $5.805\text{nm}$  となることがわかる。これは、基準値  $d_{\text{total}} = 278\text{nm}$  に対して  $2.09\%$  のばらつきが許容されることを意味する。

## 【 0 0 5 5 】

つまり、 $\Gamma$  を一定値に固定するのではなく、膜厚周期長とともに最適な  $\Gamma$  値を選択して多層膜構造を構成すれば、その多層膜構造の総膜厚  $d_{\text{total}}$  のばらつき許容値が増大する。図 1 4 には、 $\Gamma$  値を最適化した場合としない場合とについて、総膜厚  $d_{\text{total}}$  のばらつきの許容値を  $E_{\text{relative}}$  の関数としてプロットした結果を示す。図例からも明らかなように、 $\Gamma$  値を最適化した場合は、 $\Gamma$  値を最適化しない場合よりもばらつき許容値が増大し、同一のばらつき幅であれば  $\Gamma$  値を最適化しない場合に比べて大きなエネルギーが得られることがわかる。

## 【 0 0 5 6 】

このことから、露光装置にて用いられる反射体のうち、特に露光用マスクを構成するマスクブランクスについては、その製造過程において、膜厚周期長とともに最適な  $\Gamma$  値を選択して多層膜構造を構成することが考えられる。すなわち、マスクブランクス製造工程において、 $d_{\text{total}}$  が  $\Gamma = 0.40$  における  $d_{\text{total}}$  の基準値  $278\text{nm}$  からずれている場合には、 $\Gamma$  値と  $d_{\text{total}}$  の最適関係が得られるように図 1 0 に基づいて成膜条件を選択すればよい。

## 【 0 0 5 7 】

具体的には、図 5 に示すように、既に説明したように膜厚周期長が設定された反射ミラーを用いて反射面が 1 2 面の露光装置を構成した後 (S 1 0 3)、その露光装置にて用いられるマスクブランクスを製造するが (S 1 0 4)、その製造にあたって、まず、マスクブランクスを構成する多層膜構造の総膜厚  $d_{\text{total}}$  を求める (S 1 0 5)。このとき、総膜厚  $d_{\text{total}}$  は、マスクブランクスを試作して実測しても、あるいはシミュレーション技術を利用して求めてもよい。また、このときの多層膜構造は、 $\Gamma = 0.40$  であるものとする。

## 【 0 0 5 8 】

総膜厚  $d_{total}$  を求めると、その総膜厚  $d_{total}$  に対して膜厚周期長を求め (S106)、その膜厚周期長が所定に基準値、例えば  $\Gamma = 0.40$  の場合における基準値である 278nm からずれているか否かを判断する。そして、基準値からずれている場合には、 $\Gamma$  値の最適化を行い、膜厚周期長および  $\Gamma$  値を異ならせた後 (再設定した後)、再び上述したような各ステップを繰り返す。

## 【0059】

つまり、マスクブランクス製造にあたっては、その多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長に加えて、繰り返し積層単位を構成する Si 層および Mo 層の膜厚比である  $\Gamma$  値についても、合計 13 面の反射率  $R_{total}$  の半値幅中心と極短紫外光の中心波長とが一致するように設定して (図 12 参照)、その多層膜構造を構成するようにする。

## 【0060】

このようにして得たマスクブランクスを用いて露光用マスクを構成すれば、許容し得る多層膜構造の総膜厚  $d_{total}$  のばらつき幅が広がるため、そのマスクブランクス (露光用マスク) の生産性向上が期待でき、結果として半導体装置の製造効率向上や製造コスト削減等を実現し得るようになる。しかも、その場合であっても、極短紫外光の強度に対する減衰が大きくなるのを抑制できるため、レジストへの露光を行う際の到達エネルギーを十分に確保でき、半導体装置の製造品質等が損なわれてしまうのを未然に回避し得るようになる。

## 【0061】

なお、ここでは、マスクブランクス製造にあたって  $\Gamma$  値の最適化を行う場合を例に挙げて説明したが、反射ミラーの製造にあたって  $\Gamma$  値を最適化してもよいことは勿論である。すなわち、本実施形態で説明した  $\Gamma$  値の最適化は、極短紫外光の反射体の全般に適用することが可能である。したがって、例えばハーフトーン位相シフトマスクにおけるブランクス膜厚ばらつきについても、 $\Gamma$  値の最適化を適用することによって顕著な効果が得られるようになる。

## 【0062】

ここで、ハーフトーン位相シフトマスクにおけるブランクスに  $\Gamma$  値の最適化を適用した場合について説明する。ここでは、ハーフトーン位相シフトとして、極

短紫外光を反射する多層膜構造のマスクブランクス上に、Ru膜を介して、極短紫外光吸収体材料であるTa<sub>2</sub>N膜が形成されているものを例に挙げる。このハーフトーン位相シフトマスクでは、マスクブランクの反射面からの反射光とTa<sub>2</sub>N膜の表面からの反射光との位相差を180度にするこゝで、位相シフトマスクとしての機能を果たすようになっている。位相差を180度となる膜厚は、例えばRu膜が13nm、Ta<sub>2</sub>N膜が30nmである。

## 【0063】

このようなハーフトーン位相シフトマスクにおいて、マスクブランクの総膜厚 $d_{total}$ のばらつきに対して、 $\Gamma$ 値を最適化しない場合の位相差の波長依存性を図15および図16に示す。なお、図15はTE波の位相差分布を示す図であり、図16はTM波の位相差分布を示す図である。これらの図例によれば、 $\Gamma$ 値を最適化しない場合には、位相差の範囲が167度から184度の間に分布していることがわかる。

## 【0064】

これに対して、 $\Gamma$ 値を最適化した場合におけるマスクブランクの総膜厚 $d_{total}$ のばらつきに対する位相差の波長依存性を図17および図18に示す。なお、図17はTE波の位相差分布を示す図であり、図18はTM波の位相差分布を示す図である。これらの図例によれば、 $\Gamma$ 値を最適化した場合には、167度から183度の間に位相差の分布幅が改善されることがわかる。すなわち、 $\Gamma$ 値を最適化することで、位相差の分布幅が6%程度改善されることになる。

## 【0065】

また、マスクブランクの総膜厚 $d_{total}$ のばらつきに対して $\Gamma$ 値を最適化しない場合のRu膜とTa<sub>2</sub>N膜との反射率 $T_{(Ru+Ta_2N)}$ とマスクブランクスからの反射率 $T_{blank}$ との比 $T_{ratio} = T_{(Ru+Ta_2N)} / T_{blank}$ を図19に示す。この比 $T_{ratio}$ は、位相差分布とともに、分布がより小さくなることが望ましい。これに対して、 $\Gamma$ 値を最適化した場合における比 $T_{ratio}$ を図20に示す。これらの図例を比較すると、 $\Gamma$ 値を最適化した場合は、反射率比の波長依存性が小さくなることがわかる。

## 【0066】

つまり、ハーフトーン位相シフトマスクにおけるブラックスに $\Gamma$ 値の最適化を適用した場合には、総膜厚 $d_{total}$ のばらつき幅が広がるだけでなく、位相差分布および反射率比分布の小さな位相シフトマスクを実現することもできると言える。

【0067】

【発明の効果】

以上に説明したように、本発明に係る極短紫外光の反射体およびその製造方法、位相シフトマスク、並びに露光装置によれば、複数の反射面を経た場合の反射率の波長依存性を極短紫外光の露光中心波長に一致させることができるので、被露光体上への露光を行う際の到達エネルギーを十分に確保することができる。また、最適 $\Gamma$ 値を選択すれば、反射体の膜厚ばらつきの許容幅を大きくできるので、反射体の生産性等を損なうことなく、露光体上への到達エネルギーを十分に確保できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

極短紫外光の反射体が単体の場合における反射率の一例を示す説明図であり、具体的には $S i 4.184nm / M o 2.789nm$ 、膜厚周期長 $6.973nm$ で40層積層した多層膜構造の反射面1面による反射率を示す図である。

【図2】

極短紫外光の反射体を複数経た場合における反射率の一例を示す説明図であり、具体的には $S i 4.184nm / M o 2.789nm$ 、膜厚周期長 $6.973nm$ で40層積層した多層膜構造の反射面13面による反射率を示す図である。

【図3】

本発明に係る極短紫外光の反射体が単体の場合における反射率の一例を示す説明図であり、具体的には $S i 4.17nm / M o 2.78nm$ 、膜厚周期長 $6.95nm$ で40層積層した多層膜構造の反射面1面による反射率を示す図である。

【図4】

本発明に係る極短紫外光の反射体を複数経た場合における反射率の一例を示す説明図であり、具体的には $S i 4.17nm / M o 2.78nm$ 、膜厚周期長 $6.95nm$ で40層

積層した多層膜構造の反射面 1 3 面による反射率を示す図である。

【図 5】

本発明に係る極短紫外光の反射体の製造手順の一例を示すフローチャートである。

【図 6】

多層膜構造を構成する各層の膜厚ばらつきがある場合のウエハ上への到達エネルギーの相対比較の結果の一例を示す説明図である。

【図 7】

多層膜構造の総膜厚にばらつきが生じた場合における反射体単体の反射率の一例を示す説明図であり、具体的には Si 4.17nm/Mo 2.78nm、膜厚周期長 6.95nm で 40 層積層した多層膜構造の総膜厚  $d_{total} = 278\text{nm}$  について薄い場合と厚い場合における反射率  $R_{mask}$  を示す図である。

【図 8】

多層膜構造の総膜厚にばらつきが生じた場合における反射体を複数経た後の反射率の一例を示す説明図であり、具体的には Si 4.17nm/Mo 2.78nm、膜厚周期長 6.95nm で 40 層積層し総膜厚  $d_{total} = 278\text{nm}$  で製作された多層膜ミラー 12 枚と、総膜厚  $d_{total}$  にばらつきが生じた多層膜構造のマスクブランクス 1 枚とを経た後の反射率  $R_{total}$  を示す図である。

【図 9】

多層膜構造の総膜厚にばらつきが生じた場合にウエハ上に到達する相対エネルギーの一例を示す説明図であり、具体的には Si 4.17nm/Mo 2.78nm、膜厚周期長 6.95nm で 40 層積層し総膜厚  $d_{total} = 278\text{nm}$  で製作された多層膜ミラー 12 枚と、総膜厚  $d_{total}$  にばらつきが生じた多層膜構造のマスクブランクス 1 枚とを経た後の相対エネルギー  $E_{relative}$  を示す図である。

【図 10】

多層膜構造における膜厚周期長と最適な  $\Gamma$  値との関係の一例を示す説明図である。

【図 11】

本発明に係る極短紫外光の反射体で最適な  $\Gamma$  値を選択したものが単体の場合に



における反射率の一例を示す説明図であり、具体的には  $\text{Si } 4.17\text{nm} / \text{Mo } 2.78\text{nm}$ 、膜厚周期長  $6.95\text{nm}$  で 40 層積層した多層膜構造に対し総膜厚  $d_{\text{total}}$  と  $\Gamma$  値とが最適な組み合わせである場合の反射面 1 面あたりの反射率  $R_{\text{mask}}$  を示す図である。

#### 【図 1 2】

本発明に係る極短紫外光の反射体で最適な  $\Gamma$  値を選択したものを複数経た場合における反射率の一例を示す説明図であり、具体的には  $\text{Si } 4.17\text{nm} / \text{Mo } 2.78\text{nm}$ 、膜厚周期長  $6.95\text{nm}$  で 40 層積層し総膜厚  $d_{\text{total}} = 278\text{nm}$  で製作された多層膜ミラー 12 枚と、最適な  $\Gamma$  値を選択したマスクブランクス 1 枚とを経た後の反射率  $R_{\text{total}}$  を示す図である。

#### 【図 1 3】

本発明に係る極短紫外光の反射体で最適な  $\Gamma$  値を選択したものを複数経た場合にウエハ上に到達する相対エネルギーの一例を示す説明図であり、具体的には  $\text{Si } 4.17\text{nm} / \text{Mo } 2.78\text{nm}$ 、膜厚周期長  $6.95\text{nm}$  で 40 層積層し総膜厚  $d_{\text{total}} = 278\text{nm}$  で製作された多層膜ミラー 12 枚と、最適な  $\Gamma$  値を選択したマスクブランクス 1 枚とを経た後の相対エネルギー  $E_{\text{relative}}$  を示す図である。

#### 【図 1 4】

$\Gamma$  値を最適化した場合としない場合とについて、総膜厚のばらつきの許容値を相対エネルギーの関数としてプロットした結果の一例を示す説明図である。

#### 【図 1 5】

$\Gamma$  値を最適化しない場合における総膜厚のばらつきに対するハーフトーン位相シフトマスクの各波長の TE 波位相差分布の一例を示す説明図である。

#### 【図 1 6】

$\Gamma$  値を最適化しない場合における総膜厚のばらつきに対するハーフトーン位相シフトマスクの各波長の TM 波位相差分布の一例を示す説明図である。

#### 【図 1 7】

$\Gamma$  値を最適化した場合における総膜厚のばらつきに対するハーフトーン位相シフトマスクの各波長の TE 波位相差分布の一例を示す説明図である。

#### 【図 1 8】

$\Gamma$  値を最適化した場合における総膜厚のばらつきに対するハーフトーン位相シフトマスクの各波長の TM 波位相差分布の一例を示す説明図である。

【図 1 9】

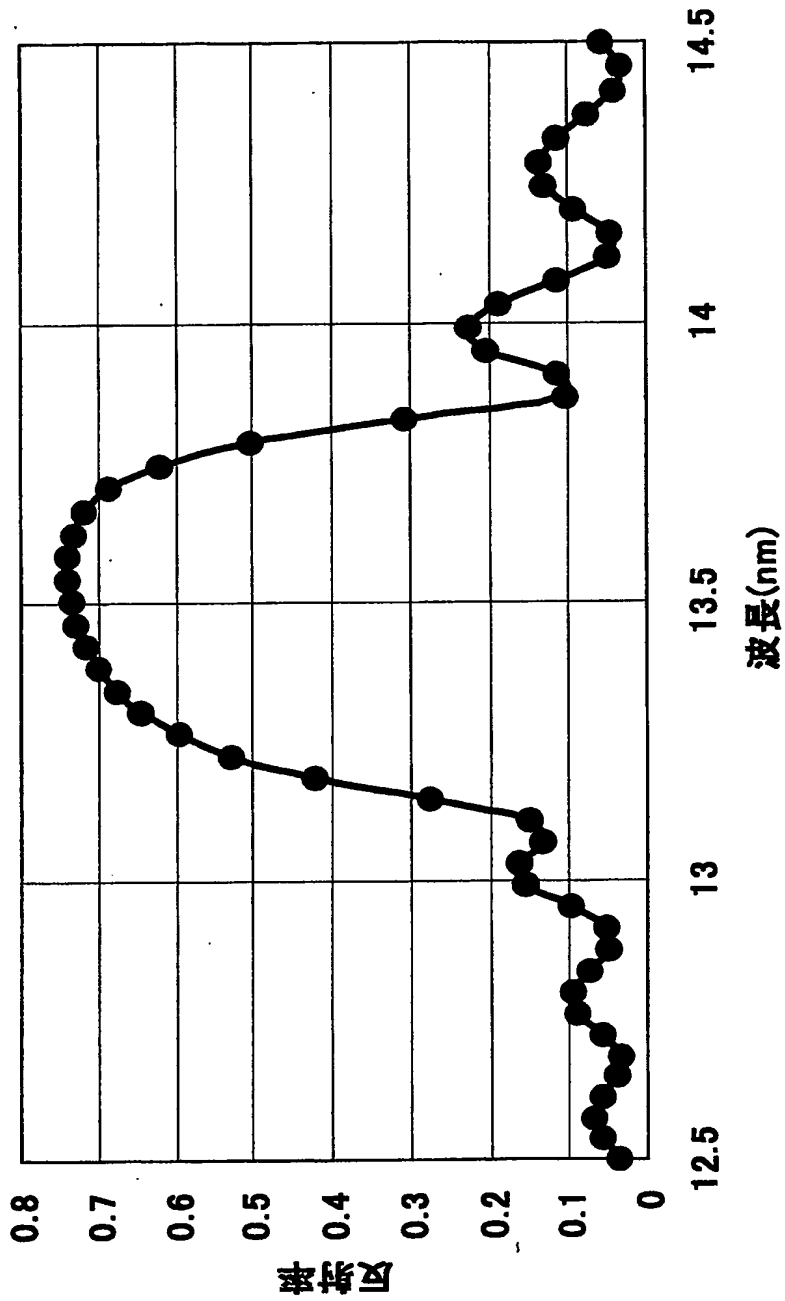
$\Gamma$  値を最適化しない場合における総膜厚のばらつきに対するハーフトーン位相シフトマスクの各波長の反射率比分布の一例を示す説明図である。

【図 2 0】

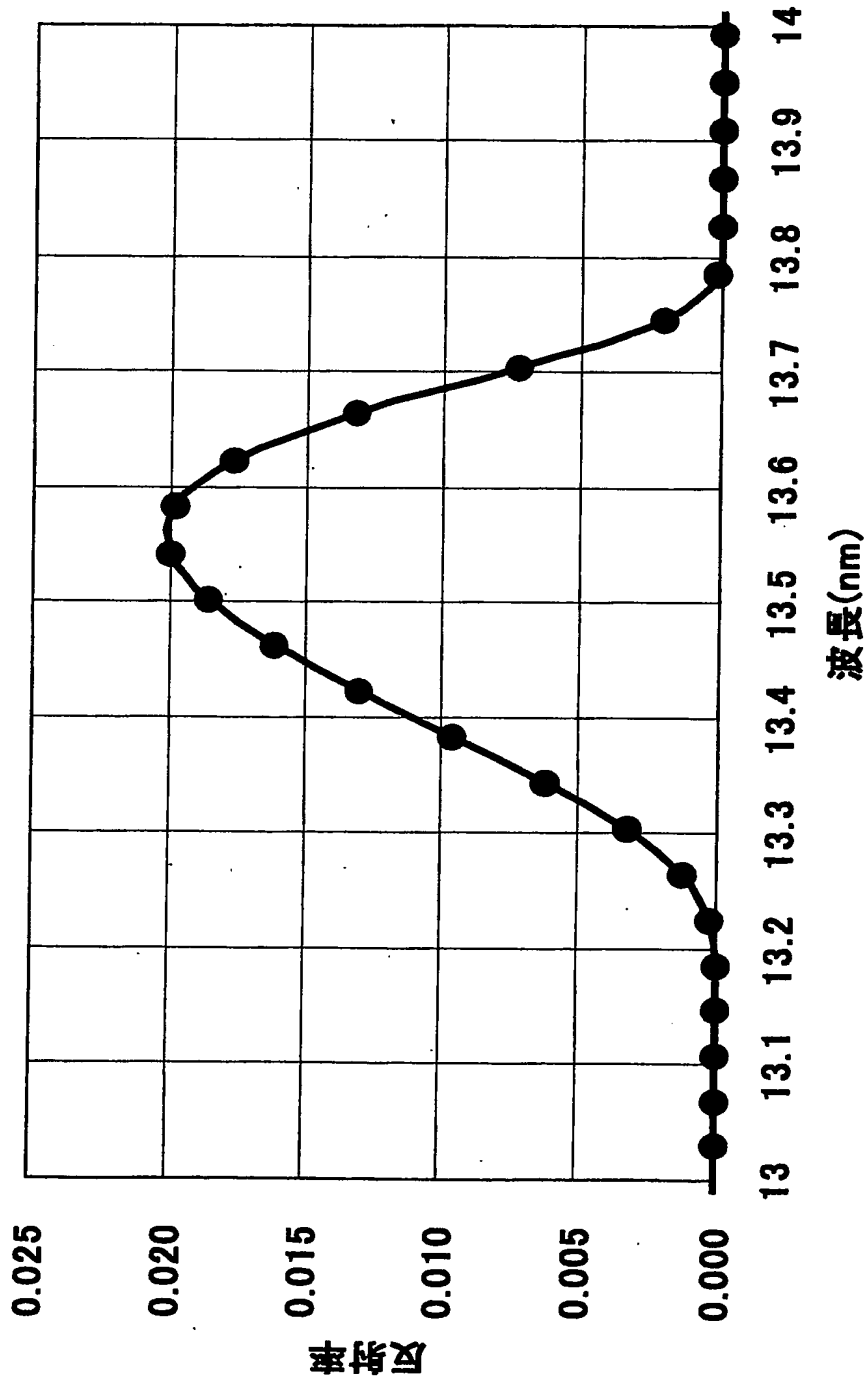
$\Gamma$  値を最適化した場合における総膜厚のばらつきに対するハーフトーン位相シフトマスクの各波長の反射率比分布の一例を示す説明図である。

【書類名】 図面

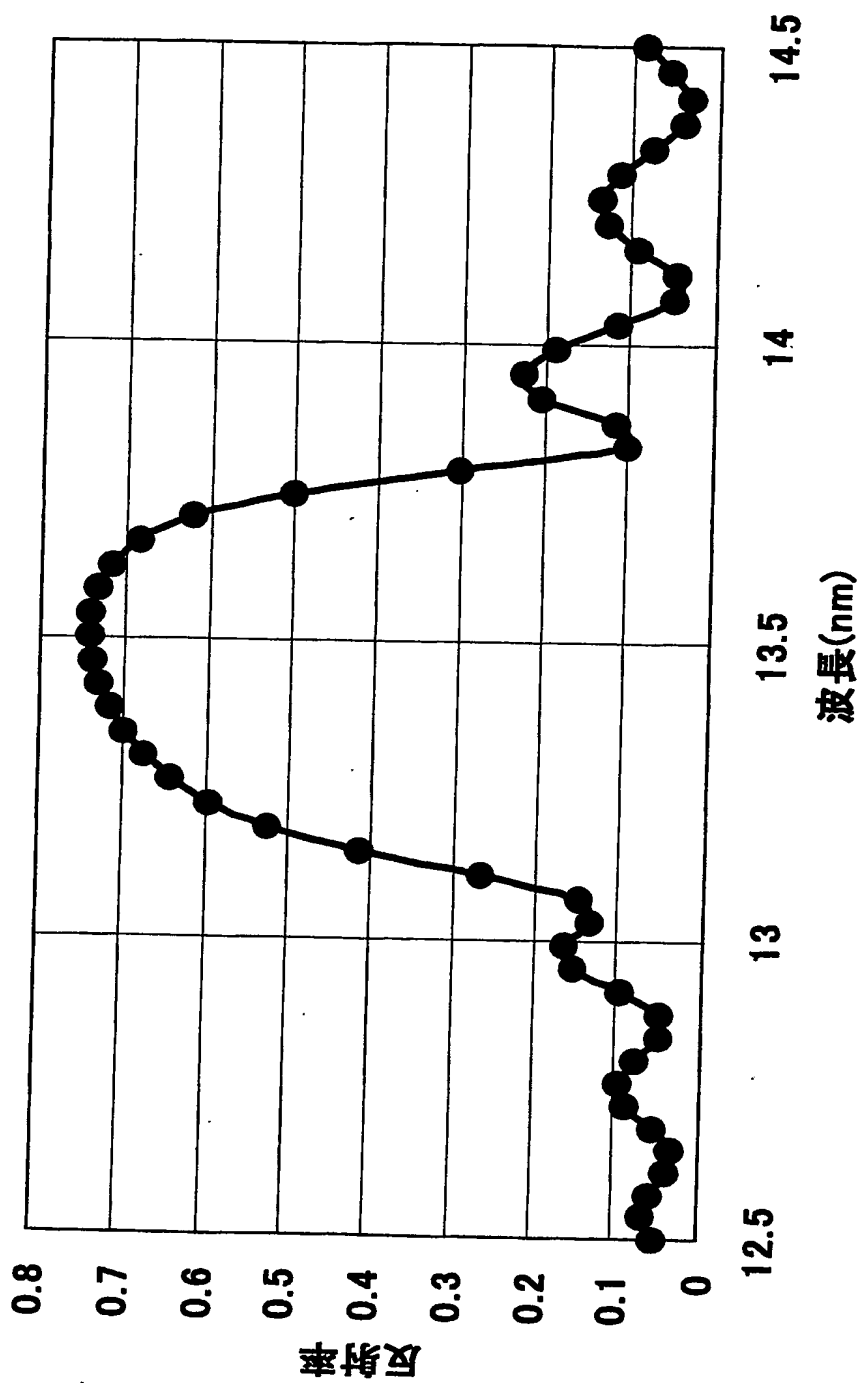
【図 1】



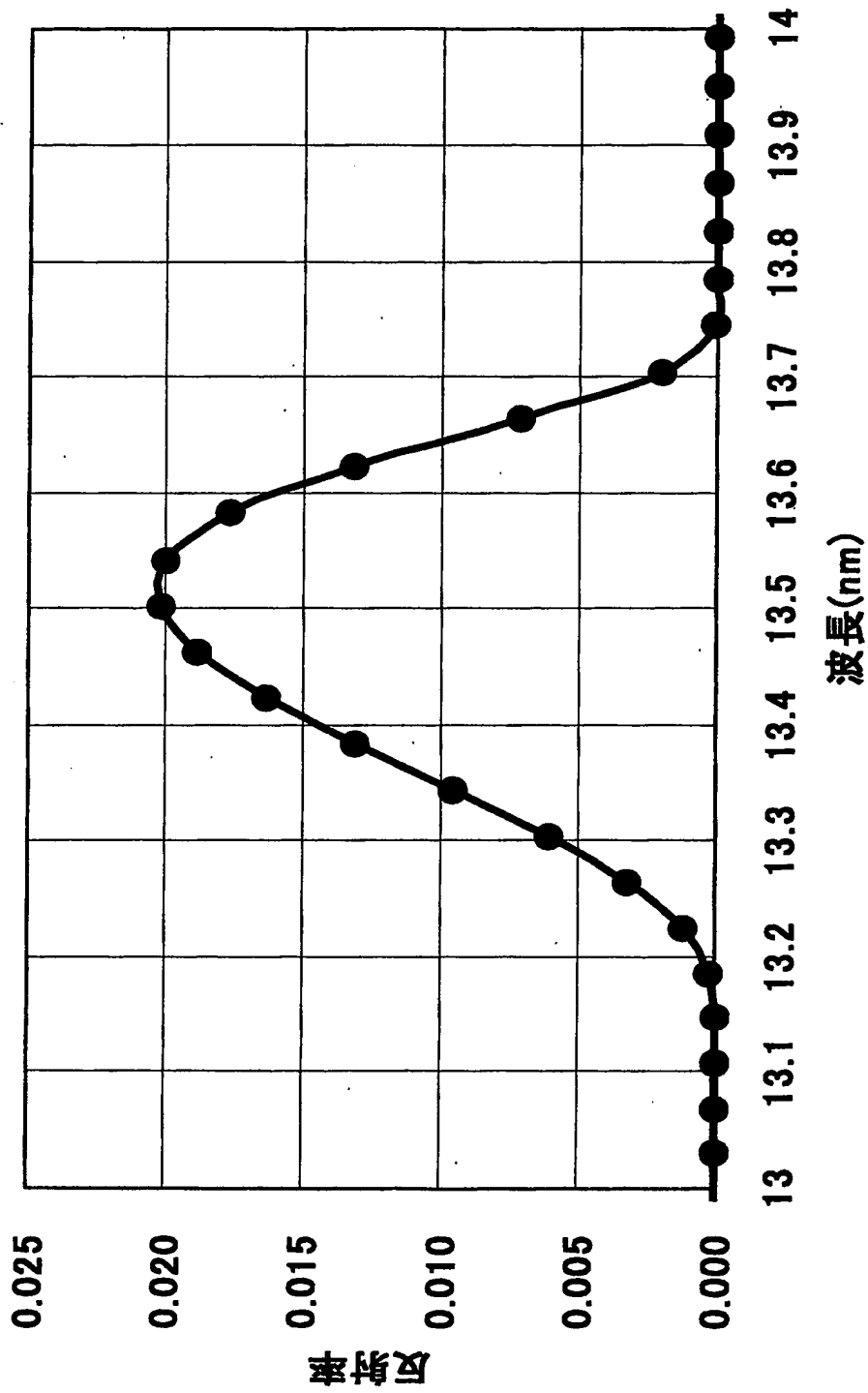
【図2】



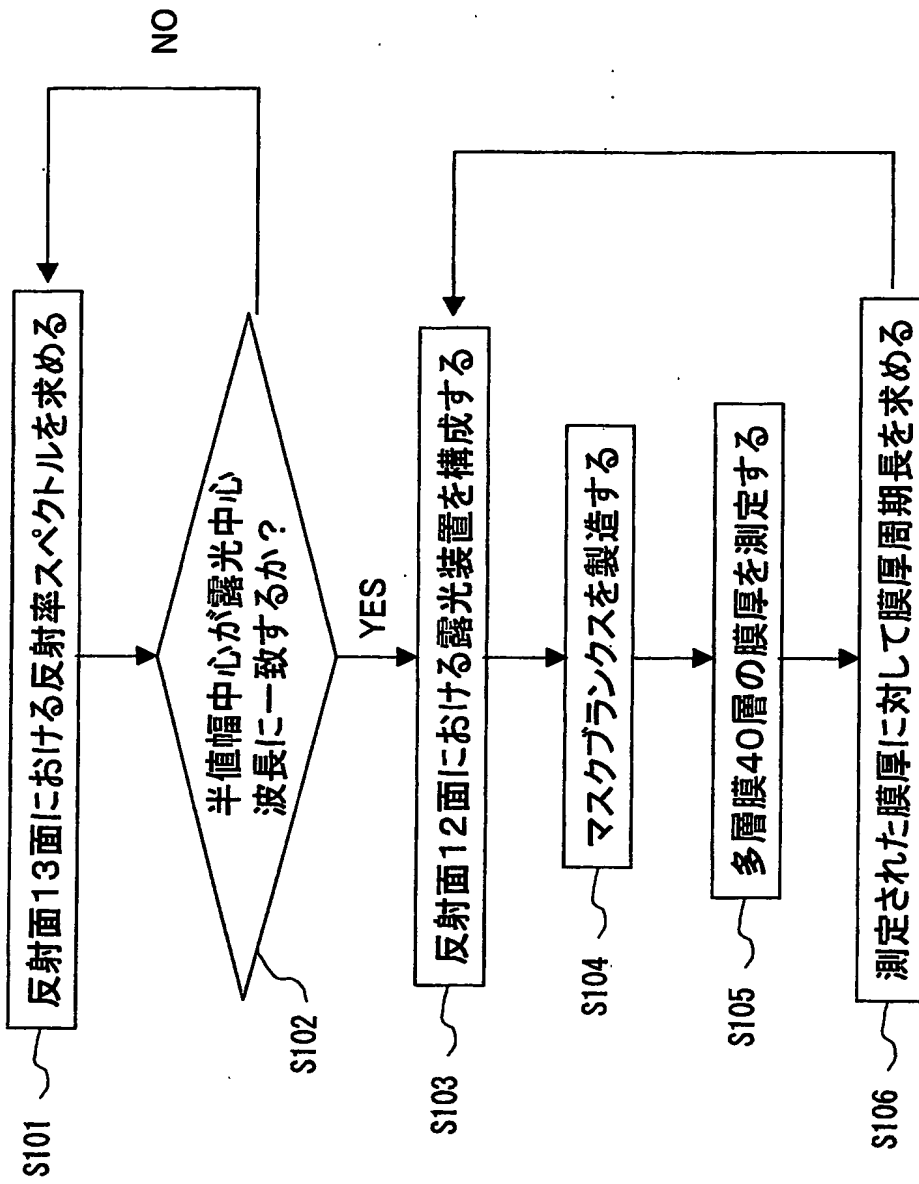
【図3】



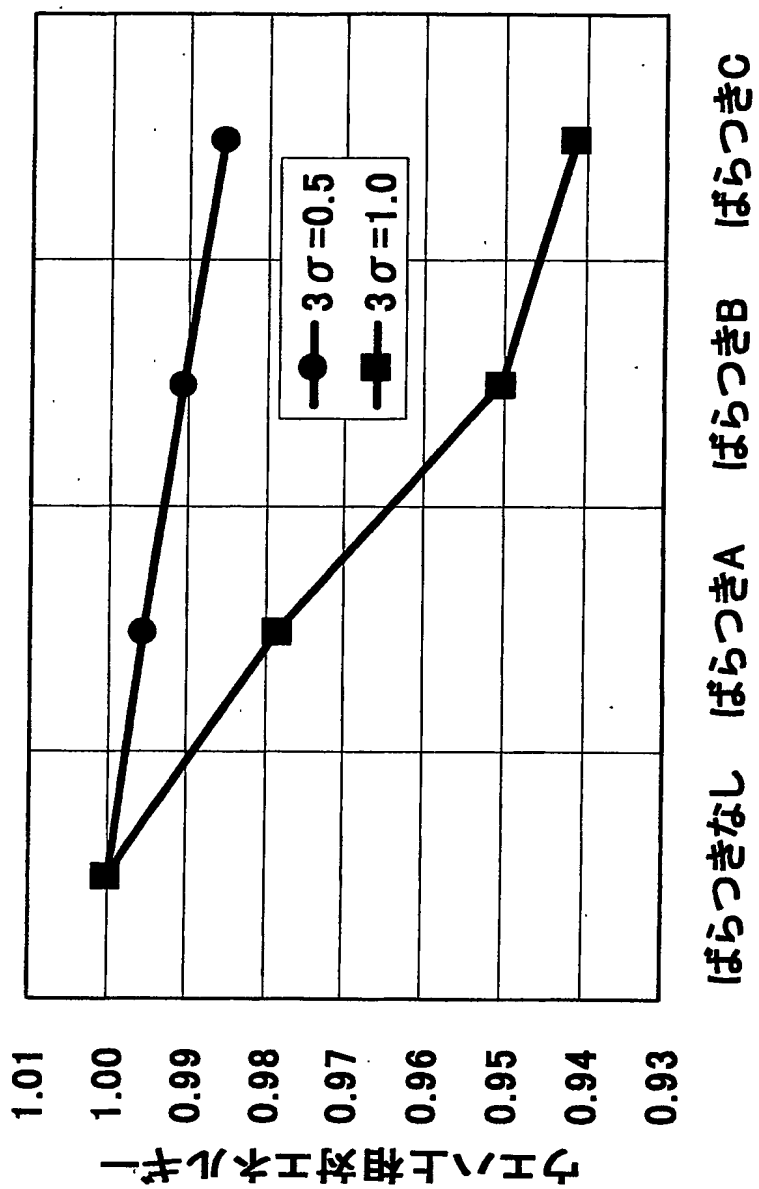
【図 4】



【図 5】

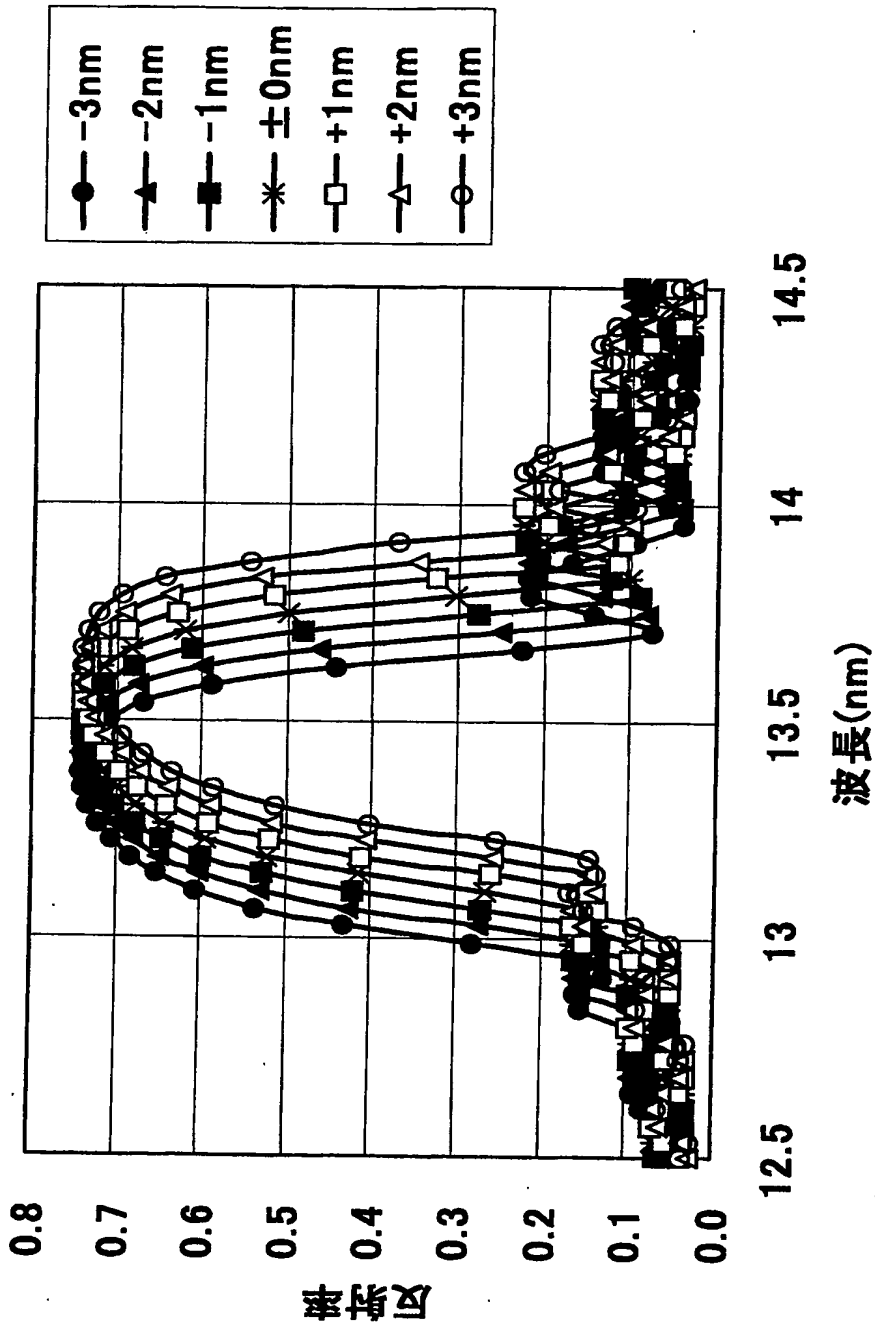


【図6】

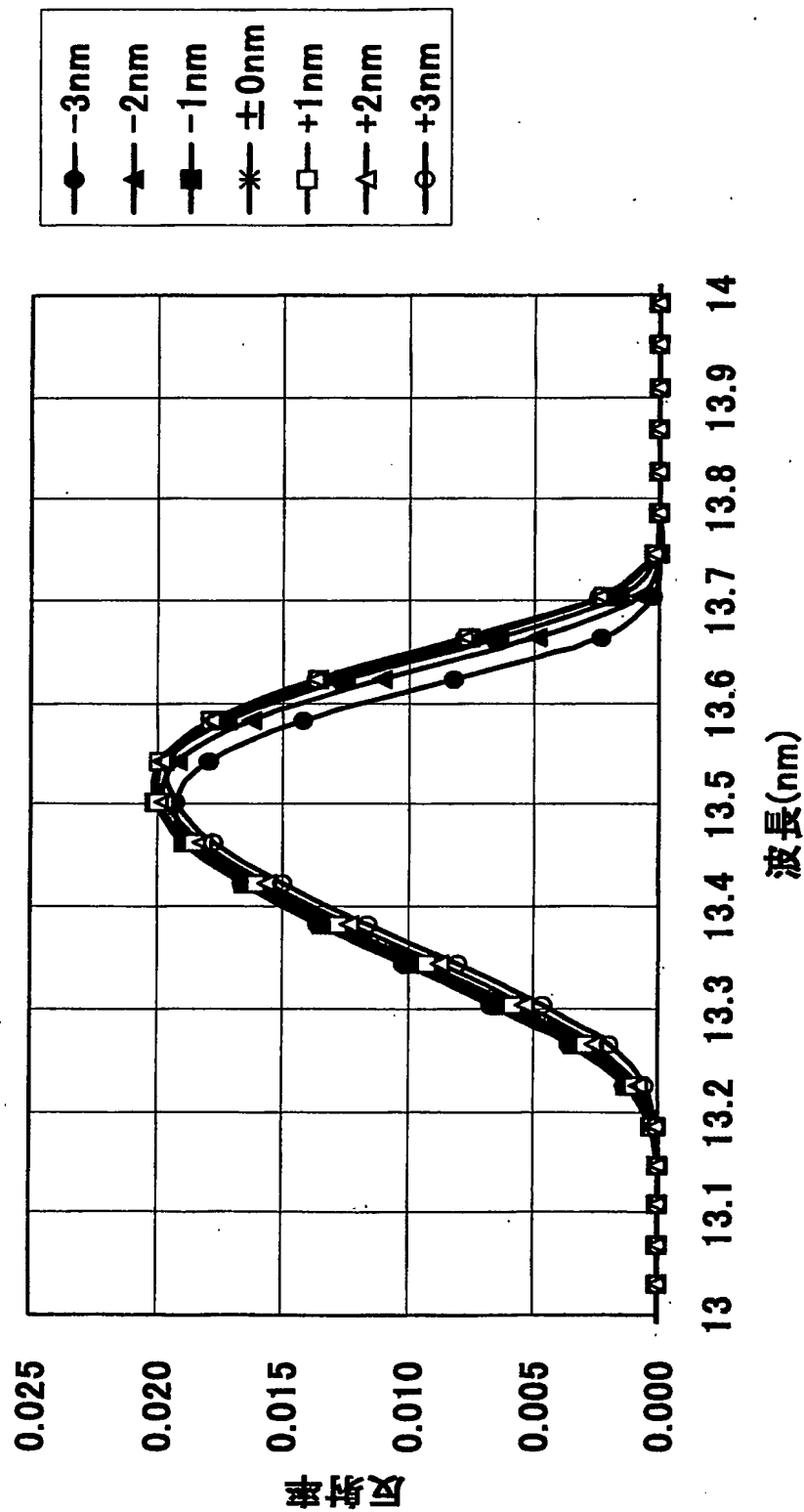




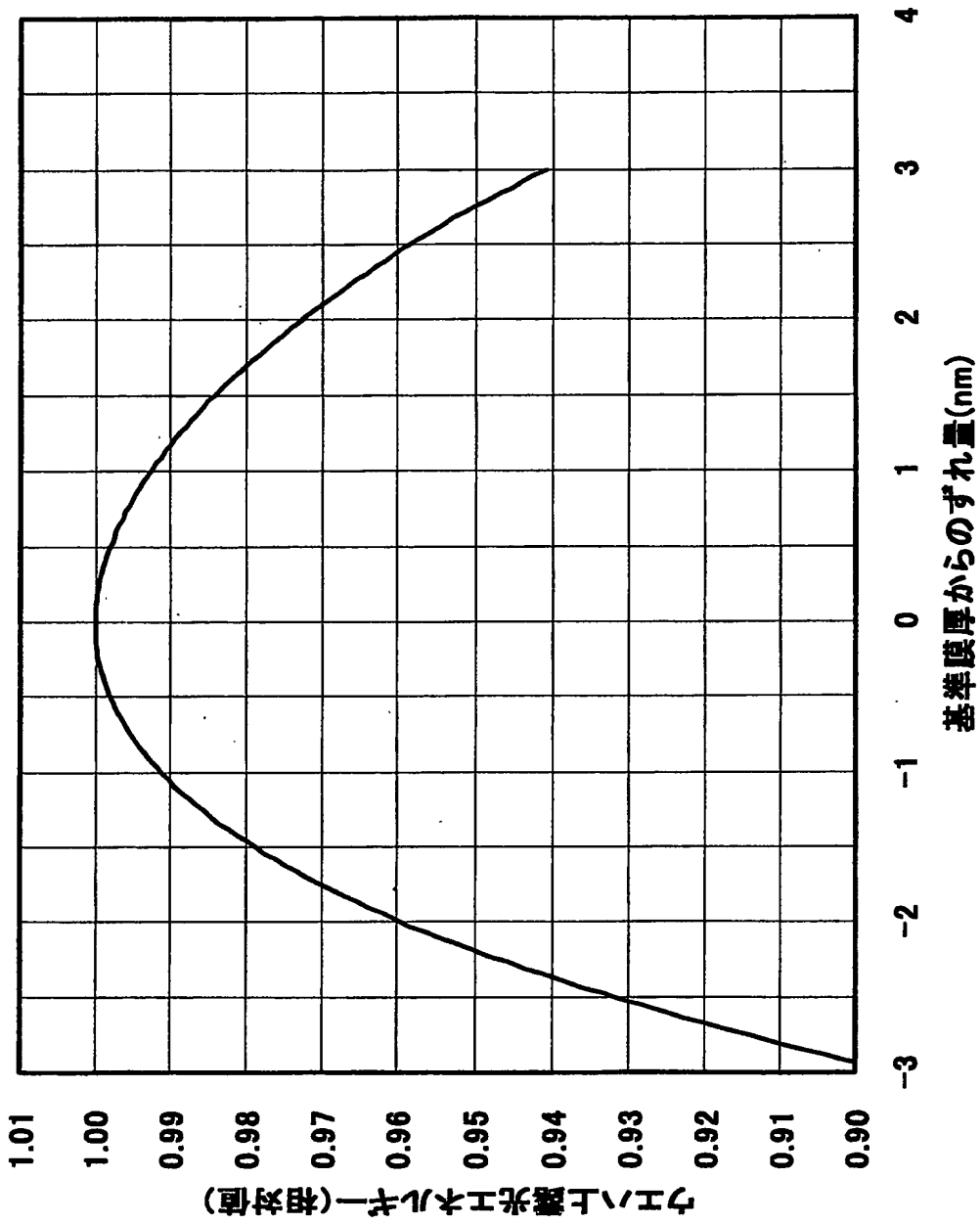
【図 7】



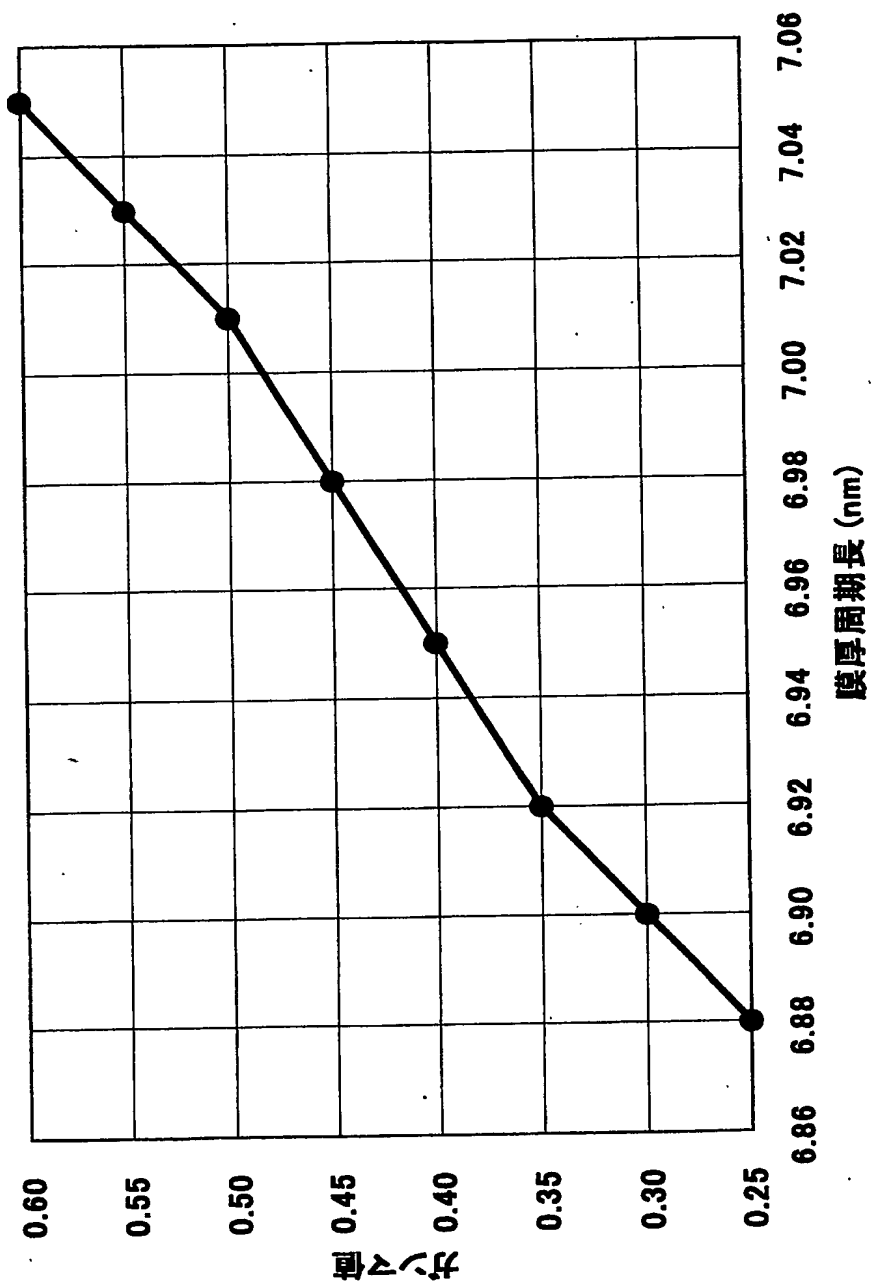
【図8】



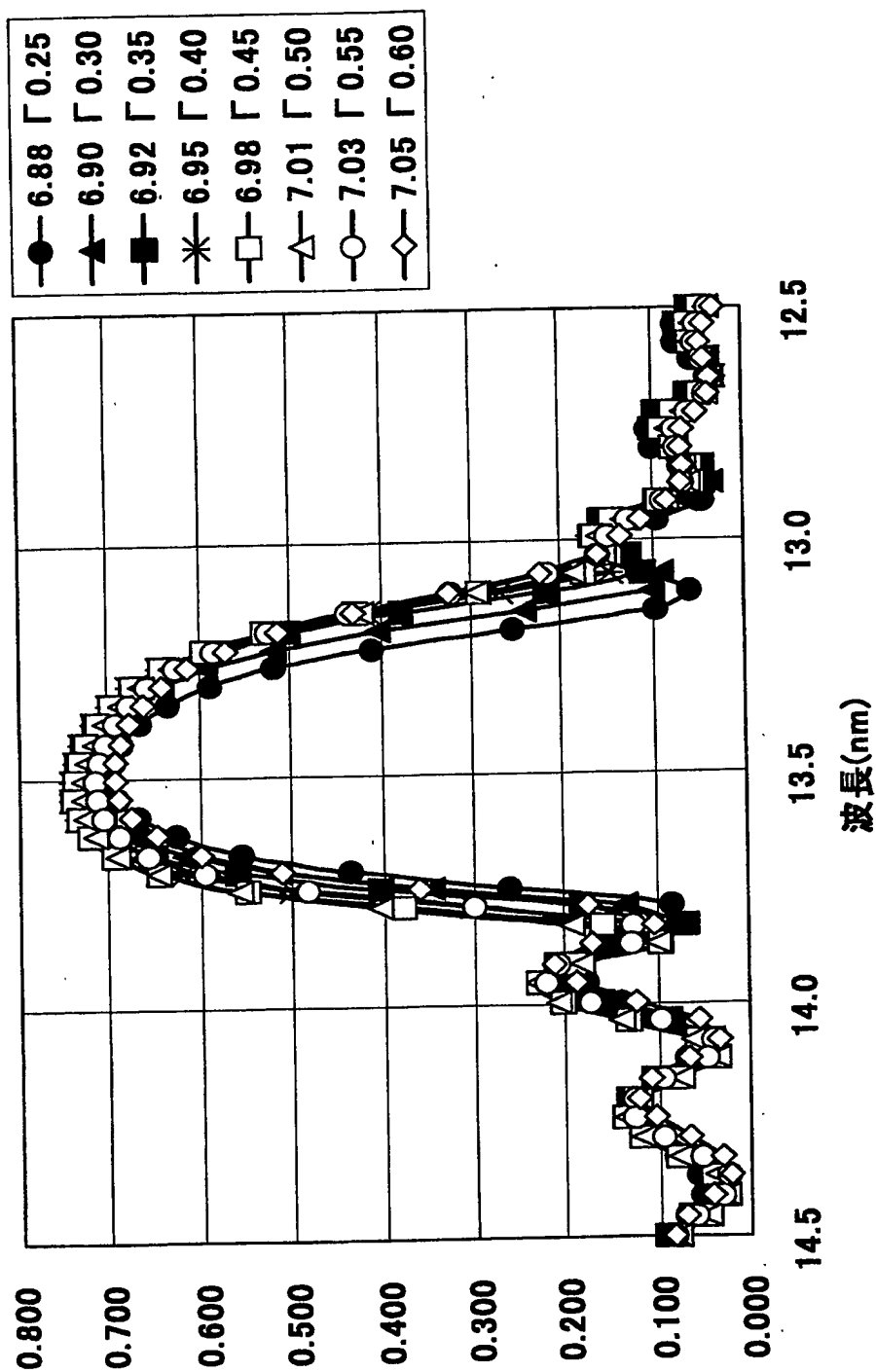
【図 9】



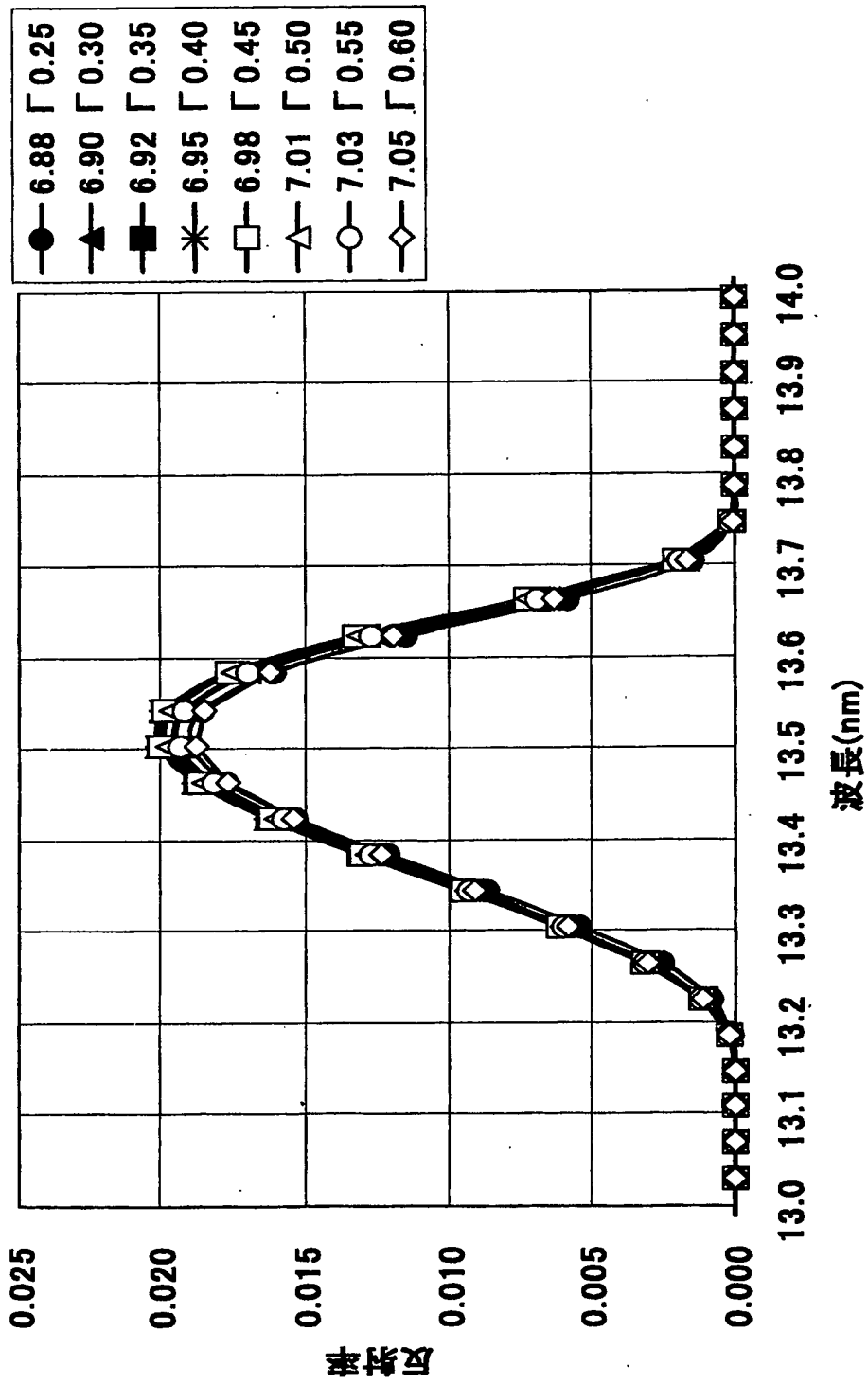
【図10】



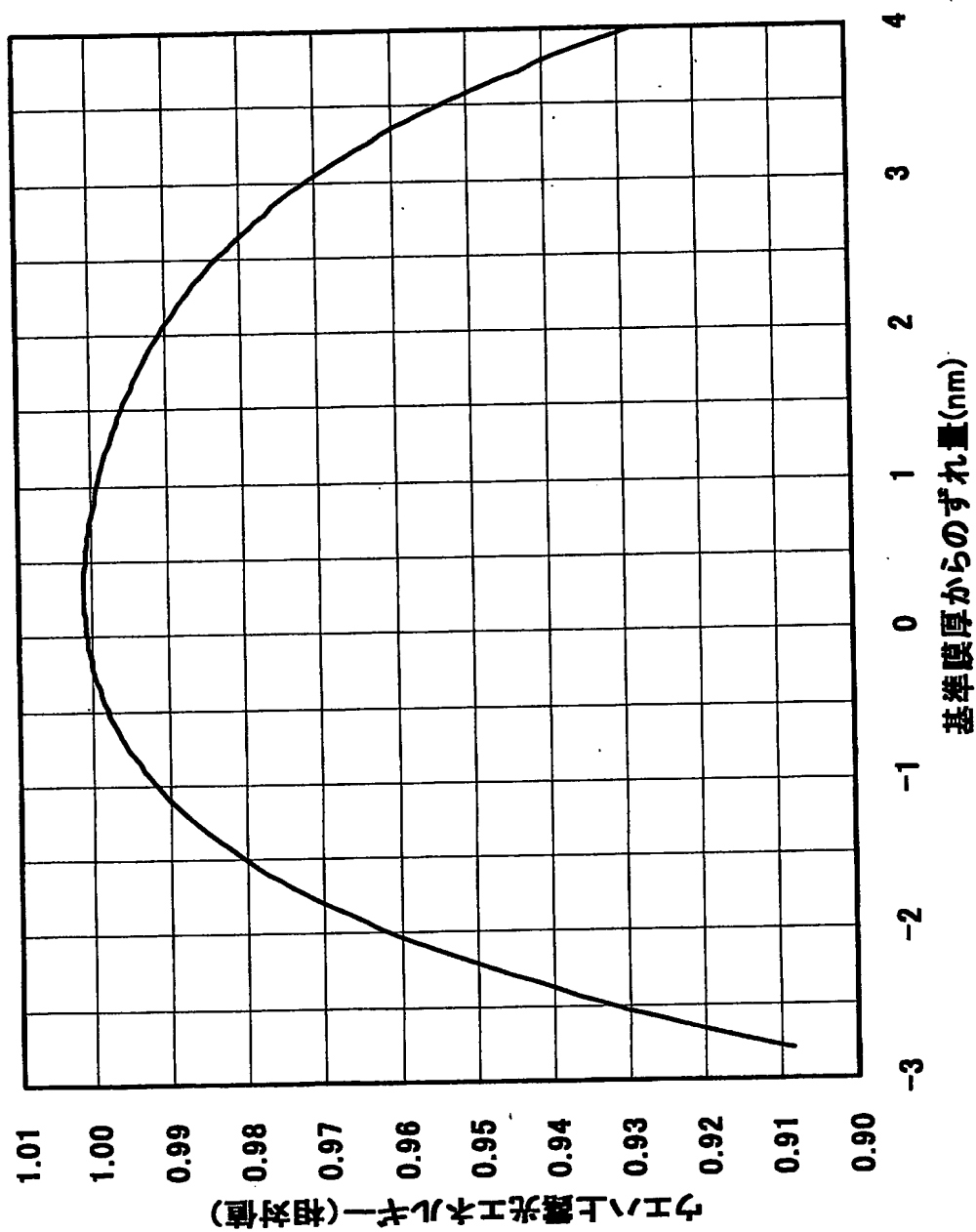
【図 11】



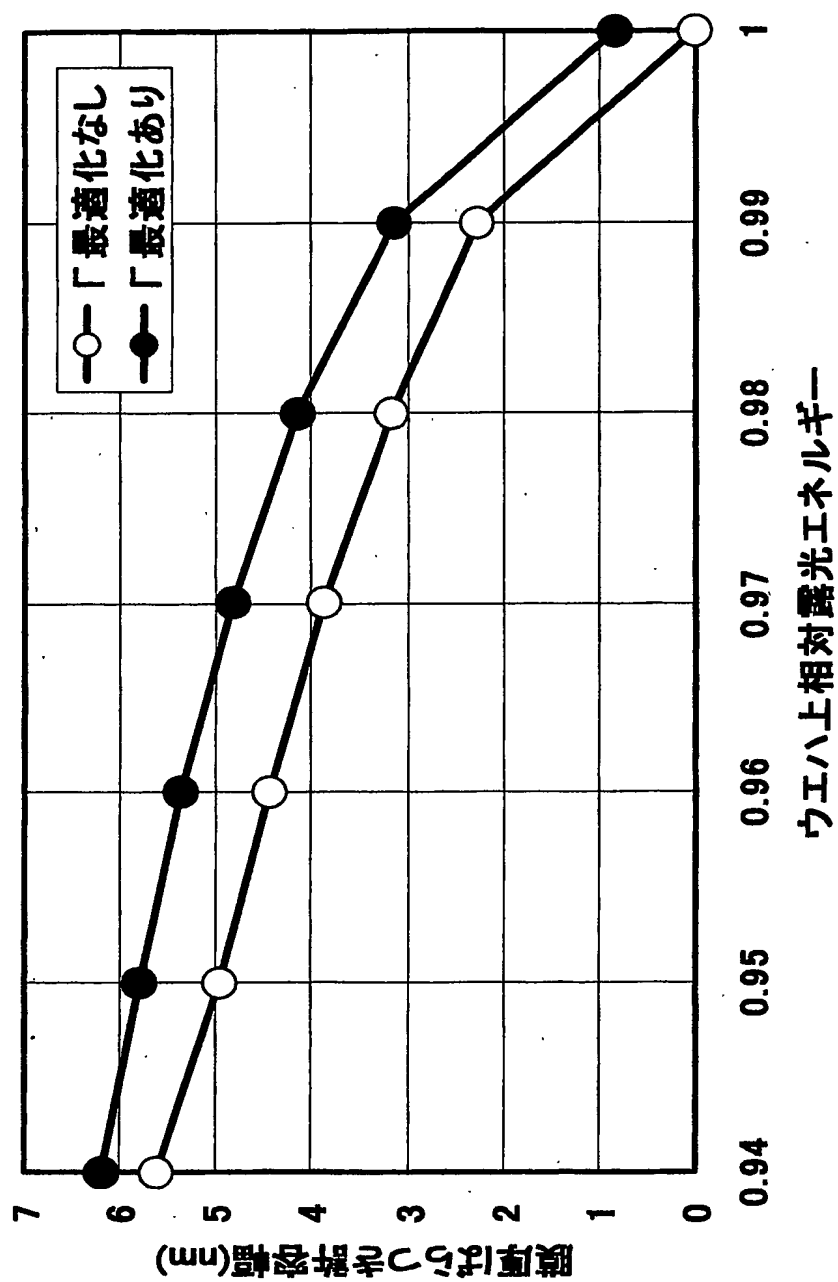
【図 12】



【図13】

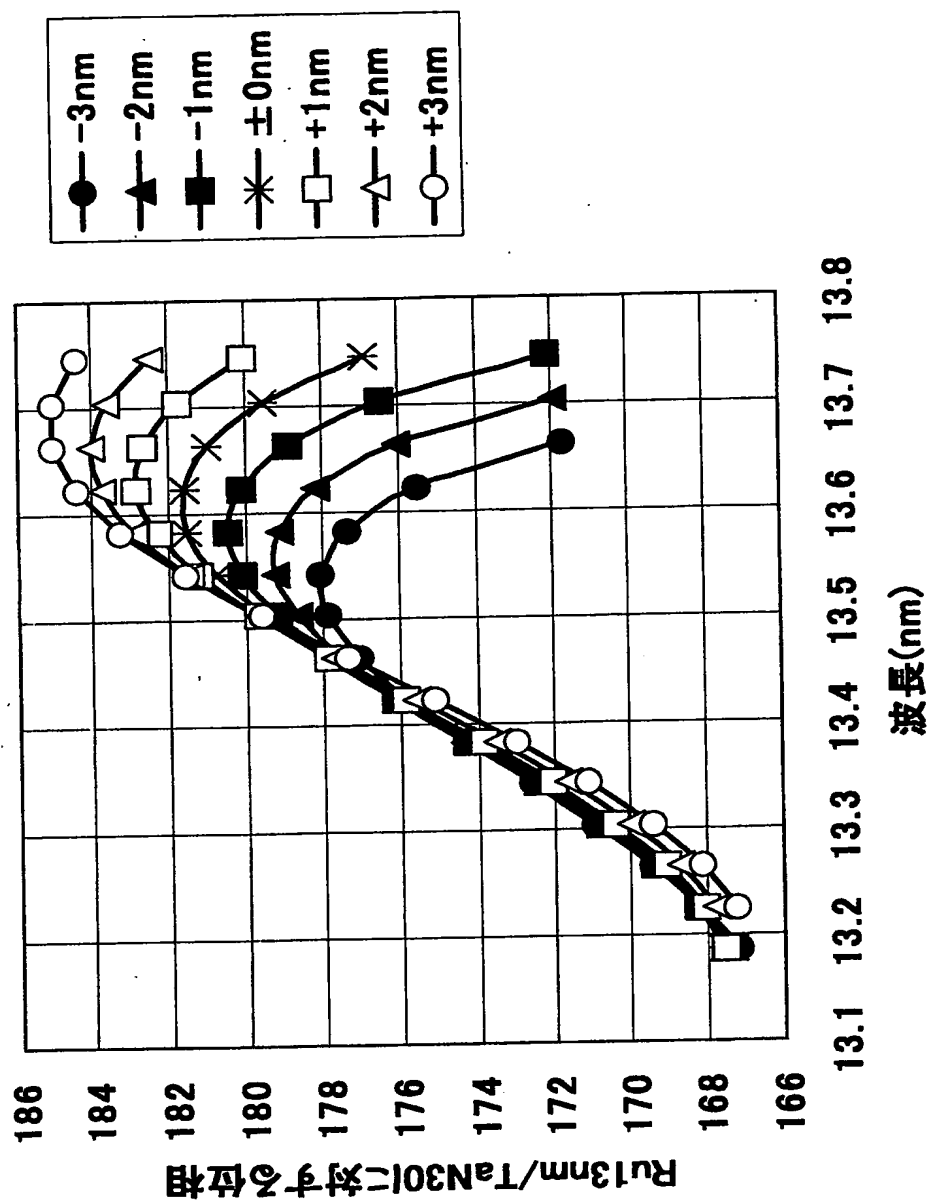


【図 14】

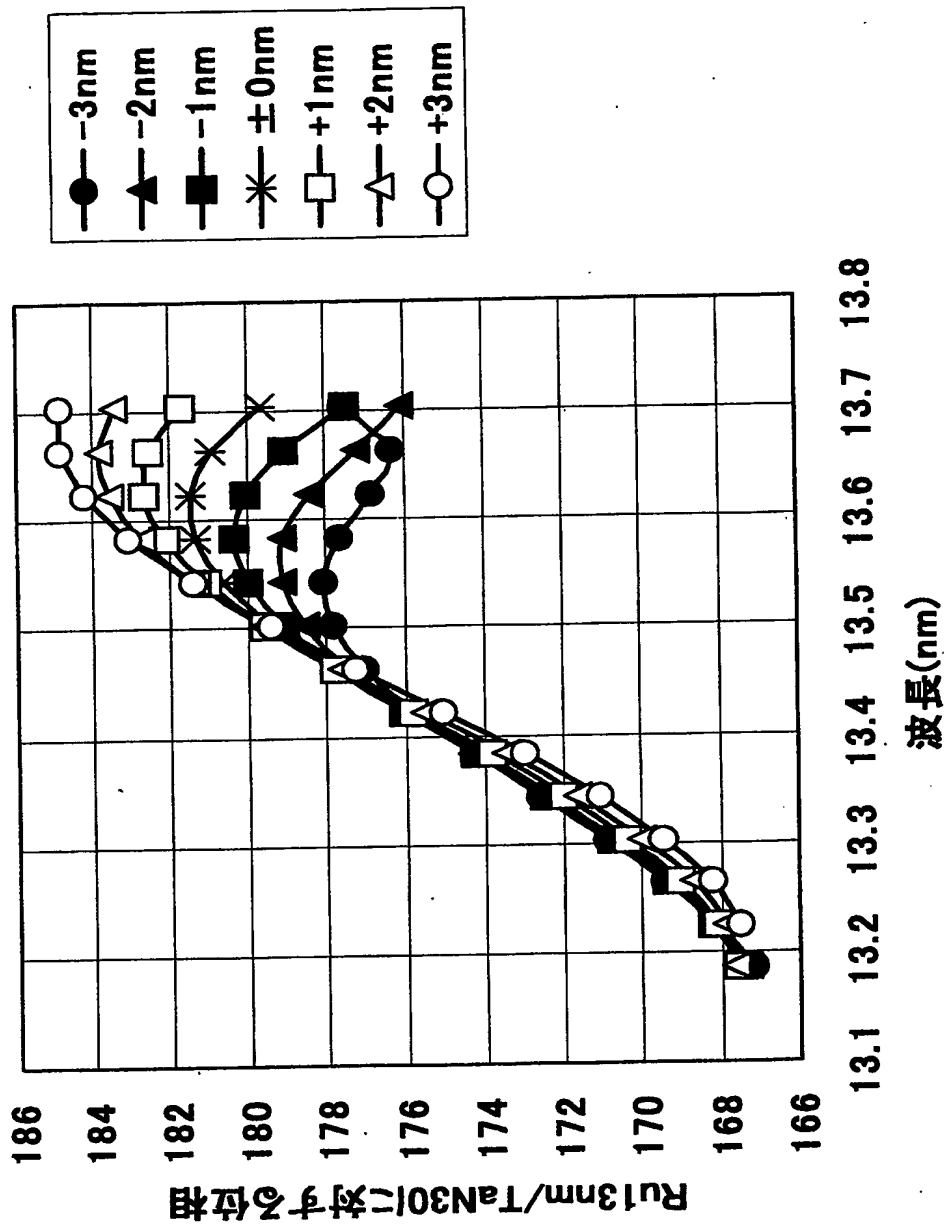




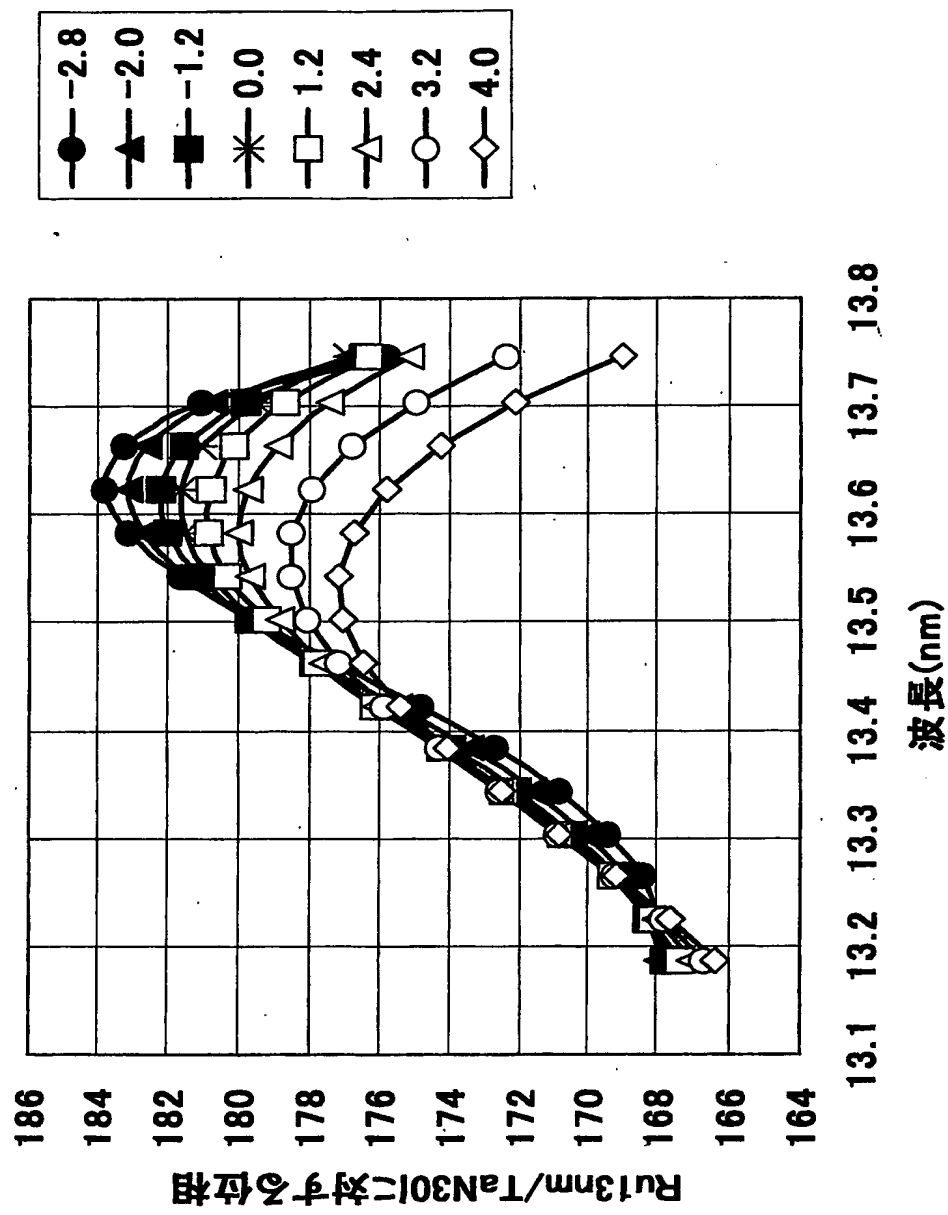
【図15】



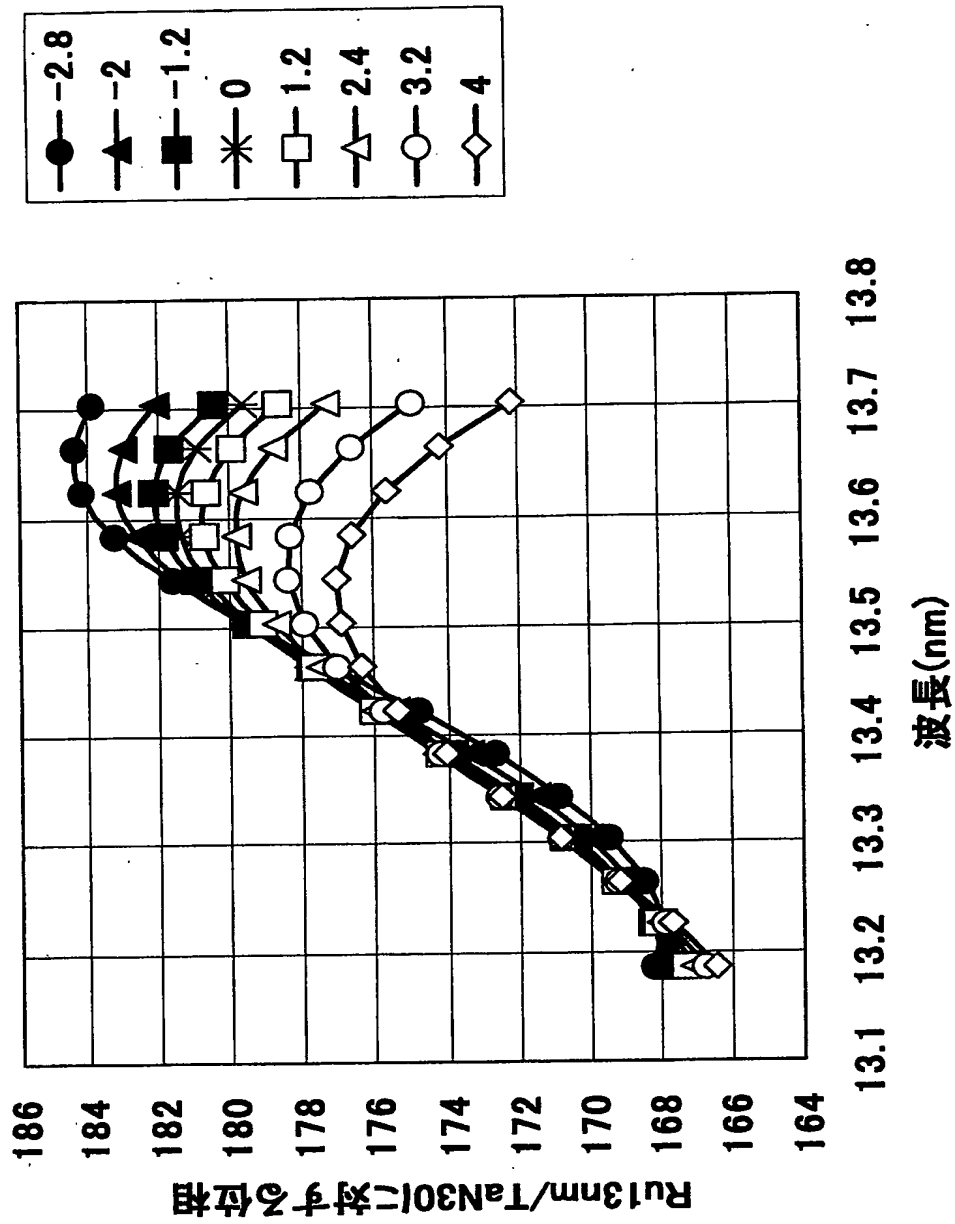
【図 16】



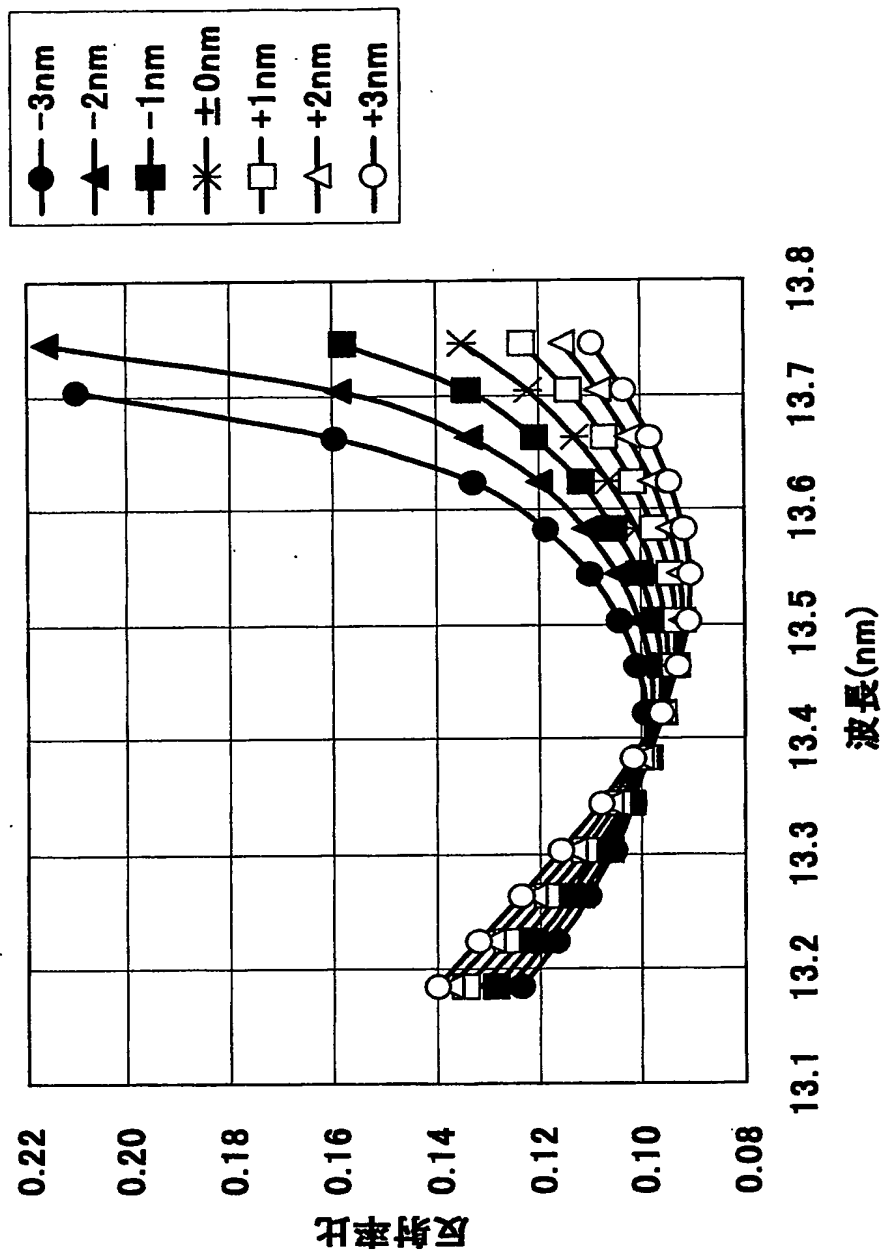
【図 17】



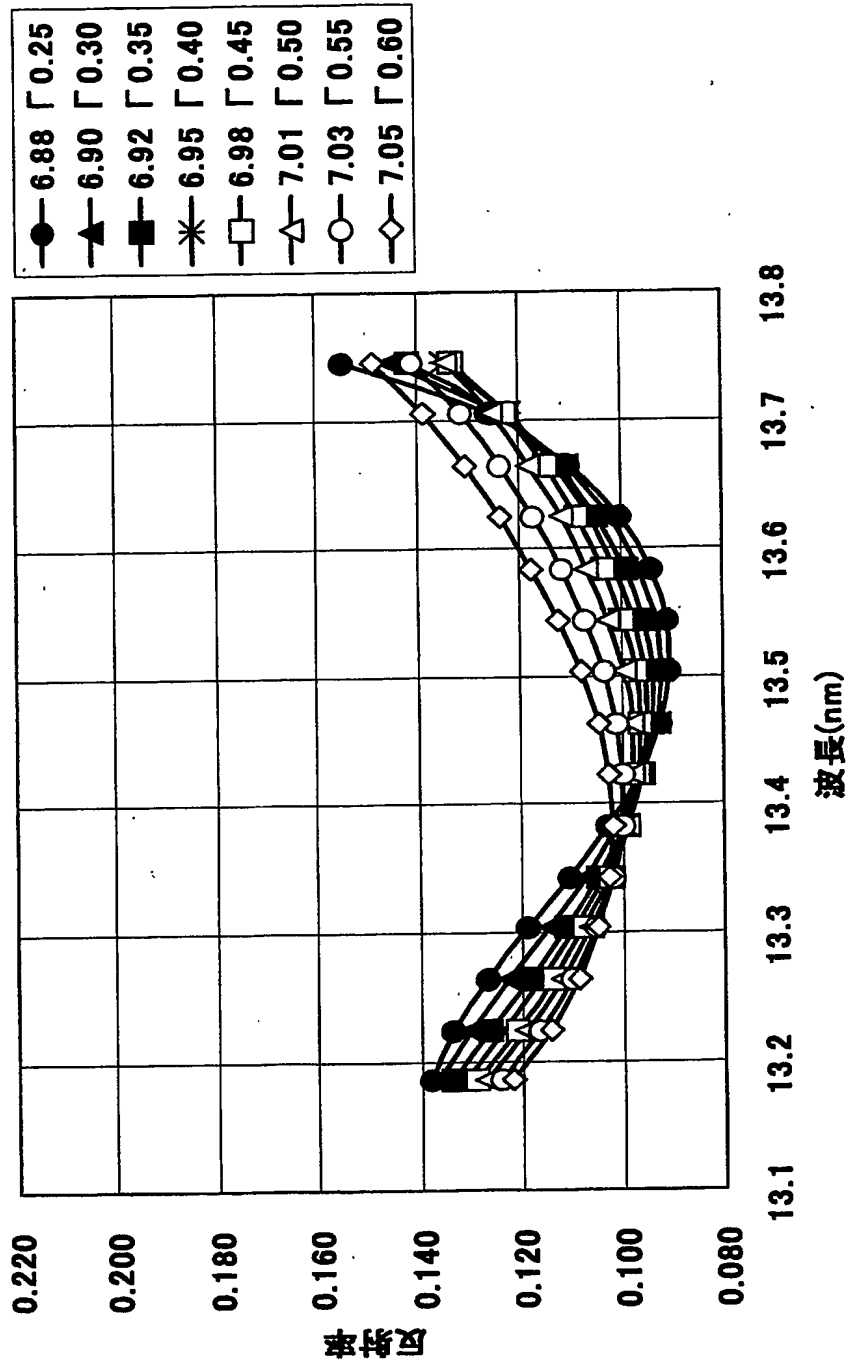
【図18】



【図19】



【図 20】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 複数の極短紫外光の反射面を経た場合の反射率の波長依存性を、その極短紫外光の露光中心波長に一致させるようにすることで、被露光体への到達エネルギーを十分に確保できるようにする。

【解決手段】 半導体装置を製造するためのリソグラフィ工程で極短紫外光による被露光体上への露光を行う際に用いられる極短紫外光の反射体を、複数の層が同一順で繰り返し積層されてなる多層膜構造を有するように構成する。そして、そのときに、所定数の反射面を経た場合の反射率の半値幅中心と反射すべき極短紫外光の中心波長とが一致するように（S 1 0 2）、その多層膜構造における繰り返し積層単位の周期長を設定する。

【選択図】 図 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002185]

1. 変更年月日	1990年 8月30日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都品川区北品川6丁目7番35号
氏 名	ソニー株式会社